

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Tierernährung und Diätetik

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

**Einfluss reduzierter Futterzuteilung zweier verschiedener
Heuqualitäten auf Passagedauer und
Verdaulichkeit bei Ponies**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Kristina Annelise Lilli Marlen Schiele
aus München

München 2008

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Kienzle
Korreferent:	Univ.-Prof. Gerhards

Tag der Promotion: 18. Juli 2008

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	10
Verzeichnis der Abkürzungen	12
1 Einleitung	14
2 Schrifttum	15
2.1 Retentionszeit beim Pferd	15
2.1.1 Einfluss der Futtermenge auf die mittlere Retentionszeit	26
2.1.2 Einfluss der Futterzusammensetzung auf die mittlere Retentionszeit.....	28
2.2 Scheinbare Verdaulichkeit beim Pferd	30
2.2.1 Scheinbare Verdaulichkeit der Rohrnährstoffe und der Bruttoenergie.....	30
2.2.2 Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen.....	46
2.2.3 Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe und Spurenelemente .	53
3 Eigene Untersuchungen	58
3.1 Studienziel	58
3.2 Material und Methoden	58
3.2.1 Versuchsplan.....	58
3.2.2 Versuchstiere	59
3.2.3 Versuchsfutter	60
3.2.4 Versuchstechnik	62
3.2.5 Probenvorbereitung.....	63
3.2.6 Angewandte Untersuchungsmethoden.....	64
3.2.7 Berechnungsmethoden	71
3.2.8 Statistische Methoden	72

3.3 Ergebnisse	74
3.3.1 Gesundheitszustand.....	74
3.3.2 Ernährungszustand und Gewichtsentwicklung	74
3.3.3 Futteraufnahme	75
3.3.4 Verhalten	79
3.3.5 Mittlere Retentionszeit	79
3.3.6 Kotmenge	82
3.3.7 Verdaulichkeit.....	83
3.3.8 Kot-Partikelgrösse	90
3.3.9 Wasseraufnahme	90
3.3.10 Urin.....	91
4 Diskussion	99
4.1 Beurteilung der Versuchsmethoden.....	99
4.1.1 Futter- und Wasseraufnahme.....	99
4.1.2 Mittlere Retentionszeit.....	99
4.1.3 Scheinbare Verdaulichkeit.....	100
4.1.4 Uringewinnung	100
4.2 Diskussion der Ergebnisse	103
4.2.1 Futteraufnahme	103
4.2.2 Mittlere Retentionszeit.....	105
4.2.3 Verdaulichkeit der Rohfaser	107
4.2.4 Scheinbare und wahre Verdaulichkeit, fäkale endogene Verluste.	109
4.2.5 Mineralstoffe und Spurenelemente.....	114
4.2.6 Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis	120
5 Zusammenfassung.....	122
6 Summary.....	124

7	Literaturverzeichnis	126
8	Tabellenanhang	137
9	Danksagung.....	161

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: MRT für verschiedene Raufuttermengen aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge in g TS/kg KM.....	16
Tab. 2: MRT für gemischte Rationen (Rau- und Kraftfutter) aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge in g TS/kg KM.....	24
Tab. 3: Scheinbare Verdaulichkeit von Rohnährstoffen und Bruttoenergie aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge in g TS/kg KM/Tag ..	31
Tab. 4: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge	47
Tab. 5: Verdaulichkeit von Mineralstoffen (Kalzium, Phosphor, Kalium, Natrium und Magnesium) und Spurenelementen (Kupfer, Zink) in Raufutter aufsteigend nach der Futteraufnahme in g TS/kg KM	54
Tab. 6: Tagesrationen in g Heu/Tier	58
Tab. 7: Geschlecht, Alter und Gewicht der Versuchstiere	60
Tab. 8: Zusammensetzung des Versuchsfutters: Trockensubstanz, organische Substanz, Rohnährstoffe, stickstofffreie Extraktstoffe, Bruttoenergie, Gerüstsubstanzen und säureunlösliche Asche	61
Tab. 9: Zusammensetzung des Versuchsfutters: Mineralstoffe und Spurenelemente	61
Tab. 10 : Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score	74
Tab. 11: Mittlere Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und g TS/kg ^{0,75} /Tag	76
Tab. 12: Futteraufnahme in g Heu/Tag bei ad libitum Fütterung und errechneter Ration von 76g TS/kg ^{0,75}	77
Tab. 13: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnährstoffen und Bruttoenergie bei ad libitum Fütterung.....	78
Tab. 14: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von stickstofffreien Extraktstoffen, Gerüstsubstanzen und säureunlöslicher Asche bei ad libitum Fütterung.....	78

Tab. 15: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von Mineralstoffen und Spurenelementen bei ad libitum Fütterung	78
Tab. 16: Mittlere Retentionszeit für Chrom- und Kobaltmarker.....	80
Tab. 17: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung.....	82
Tab. 18: Durchschnittlich pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes	83
Tab. 19: Scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Bruttoenergie.....	85
Tab. 20: Scheinbare Verdaulichkeit der Rohasche und der Gerüstsubstanzen	86
Tab. 21: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe (Ca, P, K, Mg, Na) und Spurenelemente (Cu, Zn).....	87
Tab. 22: Vergleich experimentell ermittelter und errechneter Werte (nach ZEYNER und KIENZLE, 2002) für den DE-Gehalt in der Ration und die DE-Aufnahme in MJ/Tag, MJ/kg KM und MJ/kg ^{0,75}	89
Tab. 23: Modulus of Fineness	90
Tab. 24: Durchschnittlich Wasseraufnahme in l/Tag und kg Wasser/kg aufgenommene TS.....	91
Tab. 25: Durchschnittliche Urinmengen in l/Tag und in ml/kg KM/Tag; Vergleich der eigenen Messung mit der nach MEYER und STADERMANN (1990) errechneten Menge	93
Tab. 26: Wasserbilanz in ml/kg KM/Tag	94
Tab. 27: Natrium-, Kalium-, Kalzium, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins; Kalzium-Kreatinin-Quotient	95
Tab. 28: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag.....	97
Tab. 29: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag.....	98

Tab. 30: Mittlerer Kreatiningehalt in mg/kg KM/Tag und mittleres Harnvolumen in l/Tag; Vergleich der eigenen Messungen mit der nach MEYER und STADERMANN (1990), VOM STEIN (1985) und HAVERKAMP (1988) errechneten Menge	102
Tab. 31: Wahre Verdaulichkeit in % und endogene Verluste in g/Tag und mg/kg KM/Tag von Heu F und Heu G für Mineralstoffe (Ca, P, Na, K, Mg) und Spurenelemente (Cu, Zn)	115
Tab. 32: Vergleich der scheinbaren und der wahren Verdaulichkeit der Mineralstoffe (Kalzium, Kalium, Magnesium, Natrium, Phosphor) und Spurenelemente (Kupfer, Zink) für Heu F und Heu G bei unterschiedlichen Futtermengen	119
Tab. 33: Futteraufnahme in g TS/kg ^{0,75} , mittlere Retentionszeit für Partikel (MRT Cr) und Flüssigkeit (MRT Co) in h, scheinbare Verdaulichkeit von organischer Substanz (sV oS), Rohfaser (sV Rfa), Rohprotein (sV Rp), Kalzium (sV Ca) und Magnesium (sV Mg) in %	123
Table 34: Feed intake in g DM/kg BW ^{0,75} , mean retention time for particles (MRT Cr) and fluids (MRT Co) in h, apparent digestibility of organic matter (ad OM), crude fibre (ad CF), crude protein (ad CP), calcium (ad Ca) and phosphorus (ad P) in %	125

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg KM/Tag und MRT in h für Partikel nach Tabelle 1 und 2.....	26
Abb. 2: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg KM/Tag und MRT in h für Flüssigkeit nach Tabelle 1 und 2.....	27
Abb. 3: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg ^{0,75} /Tag und MRT für Partikel und Flüssigkeit nach Tabelle 1 und 2.....	27
Abb. 4: Zusammenhang zwischen NDF-Gehalt des Futters in g/kg TS und MRT in h nach Tabelle 1 und 2.....	29
Abb. 5: Zusammenhang zwischen aufgenommener Futtermenge in g TS/kg KM/Tag und MRT für Raufutter und gemischte Rationen aus Rau- und Kraftfutter nach Tabelle 1 und 2	30
Abb. 6: Zusammenhang zwischen Aufnahme in g/kg KM/Tag und Verdaulichkeit in % der organischen Substanz bei Raufutter nach Tabelle 3.....	44
Abb. 7: Zusammenhang zwischen Rohprotein-Aufnahme in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit in % bei Raufutter nach Tabelle 3	45
Abb. 8: Zusammenhang zwischen Rohfettaufnahme in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit bei Raufutter in % nach Tabelle 3	46
Abb. 9: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes	59
Abb. 10: Gewichtsentwicklung „Bukra“, Angaben unter der x-Achse kennzeichnen den Zeitpunkt an dem auf die jeweilige Futtermenge umgestellt wurde.....	75
Abb. 11: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für „Bukra“ Heu F, 30g TS/kg ^{0,75} .	81
Abb. 12: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für „Bukra“ Heu G, 30g TS/kg ^{0,75}	81
Abb. 13: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für "Sissi"	84
Abb. 14: Abhängigkeit der Futteraufnahme vom Proteingehalt der Ration nach Tabelle 3 und nach eigenen Ergebnissen	104
Abb. 15: Abhängigkeit der mittleren Retentionszeit für Partikel von der Futteraufnahme nach Tabelle 1 und 2 und nach eigenen Ergebnissen ...	106

Abb. 16: Abhängigkeit der mittlerer Retentionszeit für Flüssigkeit von der Futteraufnahme nach Tabelle 1 und 2 und nach eigenen Ergebnissen ...	106
Abb. 17: Ermittlung der fäkalen endogenen Verluste (Schnittpunkt mit y-Achse) für Kalium bezogen auf die absolute Menge	111
Abb. 18: Ermittlung der fäkalen endogenen Verluste (Schnittpunkt mit y-Achse) für Kalium bezogen auf die Menge pro kg KM	112
Abb. 19: Zusammenhang zwischen aufgenommener Proteinmenge in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit des Rohproteins in % nach Tab. 3 und nach eigenen Ergebnissen.....	113
Abb. 20: Aufnahme an verdaulichem N in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ bezogen auf die N-Aufnahme in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$	114

Verzeichnis der Abkürzungen

ad	apparent digestibility
ad lib.	ad libitum
ADF	acid detergent fibre
ADL	acid detergent lignin
AIA	Säureunlösliche Asche
BCS	Body Condition Score
BW	body weight
BW ^{0,75}	metabolic body weight
C	Zellulose
Ca	Kalzium
CF	crude fibre
Co-EDTA	Kobalt-Ethylendiamin-tetraessigsäure
CP	crude protein
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
d	Tag
DE	Verdauliche Energie
DM	dry matter
et al.	et alii
Eu	Europium
eV	endogene Verluste
FA	Futteraufnahme
g	Gramm
GE	Bruttoenergie
h	Stunde
HC	Hemizellulose
K	Kalium
kg	Kilogramm
kg ^{0,75}	Kilogramm metabolisches Körpergewicht
KM	Körpermasse
l	Liter
ml	Milliliter

Mg	Magnesium
MJ	Mega Joule
MKG	Metabolisches Körpergewicht
MRT	Mittlere Retentionszeit, mean retention time
N	Stickstoff
Na	Natrium
NDF	neutral detergent fibre
Nfe	Stickstofffreie Extraktstoffe
OM	organic matter
oS	organische Substanz
P	Phosphor
Ra	Rohasche
Rfa	Rohfaser
Rfe	Rohfett
Rp	Rohprotein
sV	scheinbare Verdaulichkeit
TS	Trockensubstanz
wV	wahre Verdaulichkeit
Yb	Ytterbium
Zn	Zink

1 Einleitung

Über die Auswirkungen der Futtermenge und der Futterqualität auf die scheinbare Verdaulichkeit und die mittlere Retentionszeit beim Pferd gibt es zahlreiche Arbeiten mit zum Teil recht widersprüchlichen Ergebnissen. So existiert eine Hypothese, wonach bei geringerer Energiedichte im Futter die TS-Aufnahme steigt und die mittlere Retentionszeit abnimmt. Dadurch soll bei Equiden eine ausreichende Energieaufnahme trotz geringer Energiedichte im Futter erreicht werden (JANIS 1976, DUNCAN et al. 1990). In nahezu allen Studien zu diesem Thema wurden Futter mit unterschiedlichem Nährstoffgehalt bei konstanter Futteraufnahme bzw. ad libitum Fütterung untersucht. Nur bei PEARSON et al. (2001 und 2006) findet sich für jedes Futter ein Vergleich von zwei verschiedenen Futtermengen, nämlich ad libitum und 70% der ad libitum Futteraufnahme. Systematische Untersuchungen bei Pferden zu Futtermengen, die unterhalb des Erhaltungsbedarfes liegen, fehlen bisher.

In der vorliegenden Arbeit sollen deshalb im Wesentlichen drei Fragen geklärt werden:

- Gibt es einen Einfluss von Futtermengen unterhalb des Erhaltungsbedarfes auf die mittlere Retentionszeit?
- Haben Veränderungen der mittleren Retentionszeit einen Einfluss auf die scheinbare Verdaulichkeit?
- Wie unterscheiden sich diese Effekte in Abhängigkeit von der Futterzusammensetzung?

Die Ergebnisse dieser Studie sollen vor allem bezüglich ihrer Auswirkungen auf die praktische Pferdefütterung betrachtet werden.

2 Schrifttum

2.1 Retentionszeit beim Pferd

Die Retentionszeit beim Pferd wurde schon in zahlreichen Arbeiten untersucht. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse solcher Studien für reine Raufutterrationen, in Tabelle 2 für kombinierte Rationen aus Rau- und Kraftfutter zusammengestellt. Dabei fällt auf, dass die Retentionszeit im Wesentlichen von zwei Faktoren abhängt, nämlich der Futtermenge und der Futterzusammensetzung. Die Futterzubereitung hat keinen eindeutigen Effekt auf die Passagegeschwindigkeit. DROGOUL et al. (2000) fanden eine deutlich längere Passagezeit bei pelletiertem im Vergleich zu gehäckseltem Heu. Im Gegensatz dazu konnten MOORE-COLYER et al. (2003) beim Vergleich von Grassilage in langer und gehäckselter Form nur einen geringen, bei Heu in langer und in gehäckselter Form keinen Unterschied der Retentionszeit nachweisen. Außerdem scheint es innerhalb der Gruppe der Equiden Speziesunterschiede zu geben. PEARSON et al. (2001) und CUDDEFORD et al. (1995) fanden z.B. bei gleicher Futtermenge bei Eseln längere Retentionszeiten als bei Pferden.

Tab. 1: MRT für verschiedene Raufutterrationen aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge in g TS/kg KM

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pferd (Highland Pony)	Luzerne: Haferstroh 100:0	505	9,5	45,0	401	63,7	59,4	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pferd (Engl. Vollblut)	Luzerne: Haferstroh 100:0	548	10,3	49,7	401	51,9	51,1	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	10,4	40,0	823	52,8	47,5	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Pferd (Highland Pony)	Luzerne: Haferstroh 67:33	505	10,4	49,5	459	50,4	43,0	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	10,7	40,0	823	31,5	41,2	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Pony	Weizenstroh	200	10,9	41,0	771	55,3		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Esel	Luzerne: Haferstroh 100:0	174	11,1	40,2	401	76,7	61,8	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	11,1	52,0	823	43,2	49,0	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd (Engl. Vollblut)	Luzerne: Haferstroh 67:33	548	11,4	55,2	459	44,1	44,3	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pferd (Highland Pony)	Luzerne: Haferstroh 0:100	505	12,1	57,5	621	51,3	48,3	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pferd (Highland Pony)	Luzerne: Haferstroh 33:67	505	12,3	58,3	523	51,5	45,9	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Esel	Luzerne: Haferstroh 67:33	174	12,3	44,7	459	59,2	47,2	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pferd (Shetland Pony)	Luzerne: Haferstroh 100:0	108	12,4	39,9	401	46,3	41,6	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pferd (Engl. Vollblut)	Luzerne: Haferstroh 33:67	548	13,0	63,0	523	42,2	42,9	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	13,6	52,0	823	28,8	34,1	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd (Engl. Vollblut)	Luzerne: Haferstroh 0:100	548	13,6	65,9	621	38,4	43,5	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Pony	Heu	280	13,7	55,9	695	25,5		Yb		Moore-Colyer et al. (2003)	rationiert
Pony	Heu (gehäckselt)	282	13,7	56,3	706	25,6		Yb		Moore-Colyer et al. (2003)	rationiert
Pferd (Shetland Pony)	Luzerne: Haferstroh 67:33	108	14,0	45,2	459	44,2	40,2	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	14,2	64,0	348	42,6	38,7	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Esel	Luzerne: Haferstroh 33:67	174	14,2	51,7	523	55,3	48,6	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	178	14,4	52,7	715	38,3	34,0	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	rationiert
Esel	Weizenstroh	241	14,6	57,5	771	53,1		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pony	Grassilage	292	14,6	60,5	505	28,9		Yb		Moore-Colyer et al. (2003)	rationiert
Pferd (Shetland Pony)	Luzerne: Haferstroh 33:67	108	15,0	48,2	523	46,7	42,7	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	182	15,0	54,9	443	39,8	31,3	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Grassilage (gehäckselt)	294	15,0	62,3	503	26,8		Yb		Moore-Colyer et al. (2003)	rationiert
Pferd (Shetland Pony)	Luzerne: Haferstroh 0:100	108	15,2	49,0	621	46,9	44,7	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pony	Heu (später Schnitt)	214	15,4	59,0	781	39,8	42,8	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Esel	Luzerne: Haferstroh 0:100	174	15,4	56,1	621	53,8	46,0	Chrom	Co-EDTA	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bedarf
Esel	Heu (später Schnitt)	207	15,7	60,0	781	34,6	35,4	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	15,8	61,0	626	30,9	36,2	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	182	16,3	59,8	715	44,3	38,0	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Luzerne-Dact. glom.-Heu 50:50 gehäckselt	230	17,0	66,2	629	42,2		Eu		Drogoul et al. (2000)	rationiert
Pferd	Luzerne-Dact. glom.-Heu 50:50 pelletiert	230	17,0	66,2	589	50,4		Eu		Drogoul et al. (2000)	rationiert

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	251	17,0	67,5	715	36,0	33,5	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	17,4	66,0	626	35,5	43,1	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	241	17,9	70,2	443	30,5	26,8	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	rationiert
Pferd	Luzerne (Heu+Cobs)	508	18,0	85,2	527	32,3		Yb		Pagan et al. (1998)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	217	19,4	74,5	671	23,0	18,0	Chrom	Co-EDTA	Udén und Van Soest (1982)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	453	20,8	95,9	597	27,0		¹³ C/ ¹² C- Verhältnis		Sponheimer et al. (2003)	ad lib.
Pony	Heu (später Schnitt)	214	20,8	79,0	781	33,6	36,4	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pony	Heu (später Schnitt)	214	20,8	79,0	781	33,6	36,4	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Heu (später Schnitt)	207	20,9	81,0	781	31,9	35,0	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	21,1	82,0	626	28,8	37,5	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	21,4	83,0	348	32,7	27,5	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	23,1	89,0	626	31,5	35,9	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	23,8	91,0	348	42,8	47,2	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	75% von ad lib.
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	254	24,0	94,7	715	31,5	30,0	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 1:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	197	26,7	100,0	443	32,8	25,3	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	31,7	121,0	348	37,4	38,9	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	266	38,6	155,0	443	21,3	20,5	Chrom	Co-EDTA	Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu	200			757	42,3	32,8	Chrom	Co-EDTA	De Araújo Oliveira et al. (2003)	rationiert (2%KM)

Tab. 2: MRT für gemischte Rationen (Rau- und Kraftfutter) aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge in g TS/kg KM

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pony	Weizenstroh, Maisschrot	200	9,7	36,5	633	54,7		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pony	Weizenstroh, Maisschrot, Sojamehl	200	11,0	41,3	639	49,6		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pony	Weizenstroh, Maisschrot, Harnstoff	200	11,1	41,9	622	52,0		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pferd	Wiesenheu gehäckselt+ Quetschgerste 50:50	180- 350		58,4	434	42,2 (Eu) 42,9 (Yb)	44,5	Eu (Heu) Yb (Gerste)	Cr-EDTA	Drogoul et al. (2001)	rationiert
Esel	Weizenstroh, Maisschrot	241	14,9	58,7	633	52,8		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Esel	Weizenstroh, Maisschrot, Harnstoff	241	15,4	60,7	622	49,6		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Esel	Weizenstroh, Maisschrot, Sojamehl	241	16,3	64,3	639	48,1		Chrom		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 2:

Spezies	Futter	KM kg	FA		NDF g/kg TS	MRT Partikel h	MRT Flüssig- keit h	Marker		Quelle	Futtermenge
			g TS/ kg KM	g TS/ kg ^{0,75}				Partikel	Flüssigkeit		
Pferd	Wiesenheu gehäckselt+ Quetschgerste 70:30	180- 350		70,1	538	35,4 (Eu) 35,7 (Yb)	37,6	Eu (Heu) Yb (Gerste)	Cr-EDTA	Drogoul et al. (2001)	rationiert
Pferd	Getreide+ Luzerne (Heu+Cobs)	508	15,0	71,1	369	41,6		Yb		Pagan et al. (1998)	rationiert
Pferd	Heu+ Kraftfutter 40:60	200			371	45,7	37,7	Chrom	Co-EDTA	De Araújo Oliveira et al. (2003)	rationiert (2%KM)
Pferd	Heu+ Kraftfutter 60:40	200			500	42,3	33,2	Chrom	Co-EDTA	De Araújo Oliveira et al. (2003)	rationiert (2%KM)
Pferd	Heu+ Kraftfutter 80:20	200			630	40,2	31,5	Chrom	Co-EDTA	De Araújo Oliveira et al. (2003)	rationiert (2%KM)

2.1.1 Einfluss der Futtermenge auf die mittlere Retentionszeit

Trägt man für die Werte für die aufgenommene Futtermenge und die mittlere Retentionszeit aus Tabelle 1 und 2 gegeneinander auf, so ist ein eindeutiger, nicht linearer Zusammenhang zu erkennen. Je mehr Futter aufgenommen wird, desto kleiner wird die mittlere Retentionszeit (siehe Abb. 1 und 2), sowohl für Partikel als auch für Flüssigkeit, unabhängig davon, ob die Futteraufnahme auf die Körpermasse oder auf das metabolische Körpergewicht berechnet wird. In den Studien, in denen ein Vergleich verschiedener Equidenspezies durchgeführt wurde, weichen die Ergebnisse von Pferden, Ponies und Eseln oftmals voneinander ab. Da es sich jedoch nicht um einen systematischen Unterschied handelt, wurden in Abbildung 1 und 2 alle Daten verwendet, unabhängig davon, bei welcher Spezies sie ermittelt wurden. Die Passagedauer der flüssigen Phase war in der Regel etwas geringer als die der Partikel. Die Werte reichen von 21,3 (Partikel) bzw. 20,5 (Flüssigkeit) Stunden bei einer Futteraufnahme von 155g TS/kg KM bei Ponies (PEARSON et al. 2001) bis 76,7 (Partikel) bzw. 61,8 (Flüssigkeit) Stunden bei Eseln mit einer Futteraufnahme von 11,1g TS/kg KM (CUDDEFORD et al. 1995).

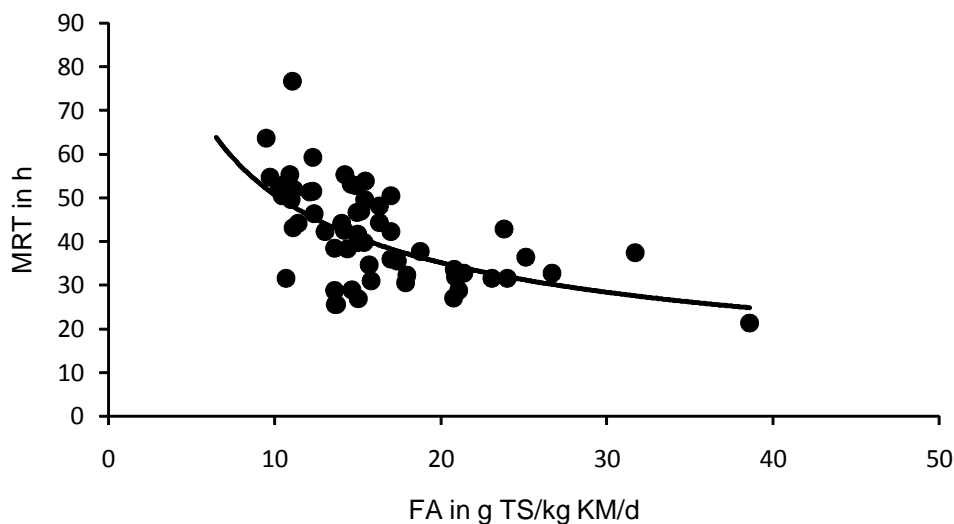


Abb. 1: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg KM/Tag und MRT in h für Partikel nach Tabelle 1 und 2

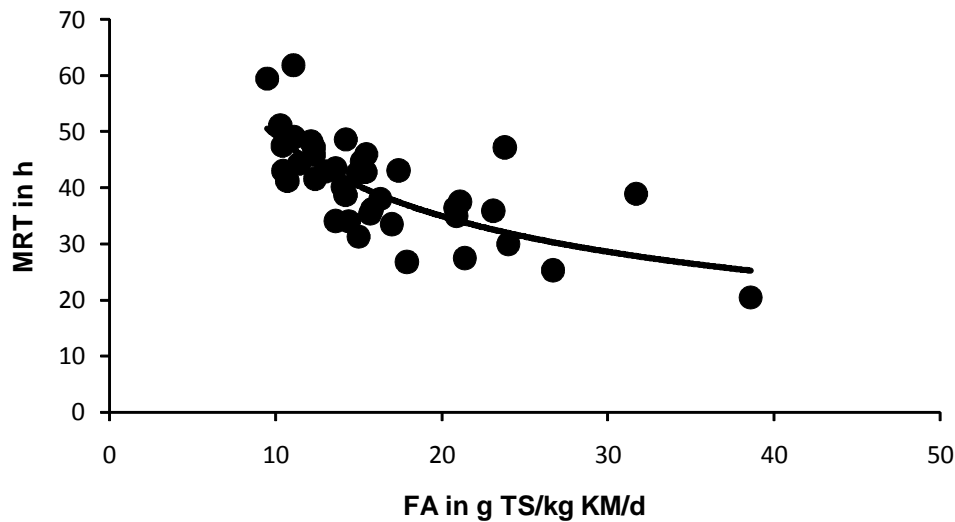


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg KM/Tag und MRT in h für Flüssigkeit nach Tabelle 1 und 2

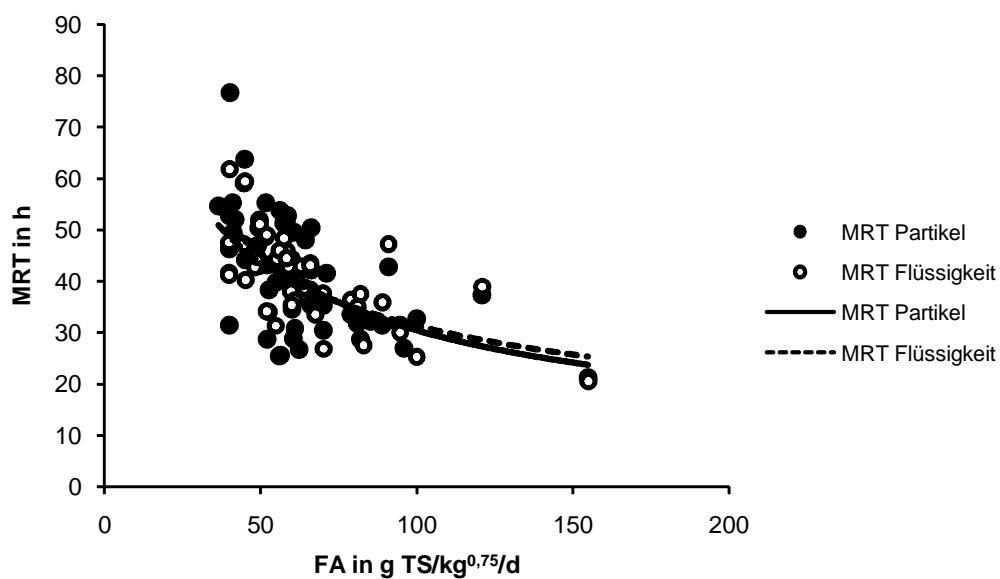


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Futteraufnahme in g TS/kg^{0,75}/Tag und MRT für Partikel und Flüssigkeit nach Tabelle 1 und 2

Werden allerdings Futtermenge und Futterart verändert, so lässt sich nicht immer ein eindeutiger Effekt der Futtermenge auf die Passagezeit zeigen. Dies war in der Regel in solchen Studien der Fall, in denen die Retentionszeit für verschiedene Futtermittel bei ad libitum Aufnahme untersucht wurde. PEARSON et al. (2001)

fanden bei Eseln bei ad libitum Fütterung von melassiertem Haferstroh eine längere Passagezeit als bei rationierter Fütterung. In einem ähnlichen Versuch mit Gerstenstroh (PEARSON et al. 2006) konnte dieses Ergebnis nicht wiederholt werden.

2.1.2 Einfluss der Futterzusammensetzung auf die mittlere Retentionszeit

Als Kriterium für die Futterqualität könnte der NDF-Gehalt des Futters verstanden werden, da vor allem der Fasergehalt als bestimmender Faktor für erhöhte Futteraufnahme und beschleunigte Ingestapassage beim Pferd verantwortlich gemacht wird (JANIS 1976, VON ENGELHARDT 2004). Außerdem liegen für diesen Parameter genügend Daten vor, während für andere spezifische Parameter, wie z.B. den Ligningehalt, die vorhandenen Daten nicht für einen Vergleich ausreichen. In den in Tabelle 1 und 2 zusammengefassten Studien wurde durchweg ein Rückgang der mittleren Retentionszeit mit zunehmendem NDF-Gehalt des Futters beobachtet. Problematisch ist allerdings, dass vor allem bei den Versuchen, bei denen das Futter ad libitum angeboten wurde, von dem faserreicheren Futter in der Regel auch weniger aufgenommen wurde als von dem faserärmeren. So findet man z.B. bei PEARSON et al. (2006) bei ad libitum Fütterung von Gerstenstroh an Esel eine mittlere Retentionszeit von 43,2 Stunden, während bei ad libitum aufgenommenem Luzerneheu die mittlere Retentionszeit nur 32,7 Stunden beträgt. Allerdings war auch die Trockensubstanzaufnahme bei Luzerne fast doppelt so hoch wie bei Stroh. Aus Abbildung 4, in der Werte aus zahlreichen Studien mit Futtermengen vom Erhaltungsbedarf bis zur ad libitum Fütterung verwendet wurden, wird ersichtlich, dass ein Zusammenhang zwischen dem NDF-Gehalt des Futters und der mittleren Retentionszeit nicht ohne Berücksichtigung der Futtermenge hergestellt werden kann.

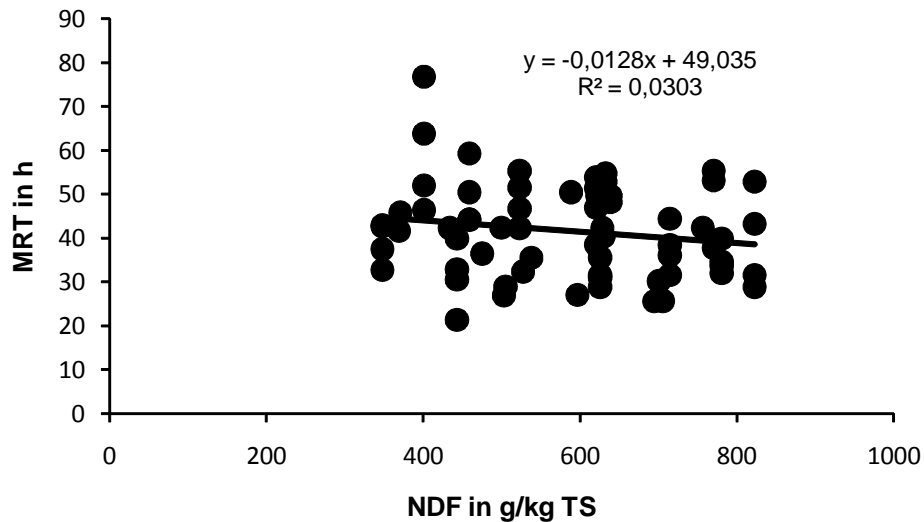


Abb. 4: Zusammenhang zwischen NDF-Gehalt des Futters in g/kg TS und MRT in h nach Tabelle 1 und 2

Berechnet man den Zusammenhang zwischen MRT und Futteraufnahme einerseits und NDF-Gehalt andererseits als multiple Regression, so erhält man folgende Gleichung:

$$\text{MRT}_{\text{Part.}} = 72,5 - 0,89 \times \text{FA (in g TS/kg KGW)} - 0,034 \times \text{NDF (in g/kg TS)}$$

$$r = 0,67$$

Hier zeigt sich, dass der Einfluss der Futteraufnahme überwiegt.

Ein weiteres Argument gegen die Verwendung des NDF-Gehaltes als Kriterium, ist in Abbildung 5 dargelegt. Es zeigte sich, dass bei Einbeziehung von kraftfutterhaltigen Rationen, die einen wesentlich geringeren NDF-Gehalt haben als reine Raufuttermationen, kein separater Cluster in einem Diagramm entsteht, das die Futteraufnahme gegen die mittlere Retentionszeit darstellt.

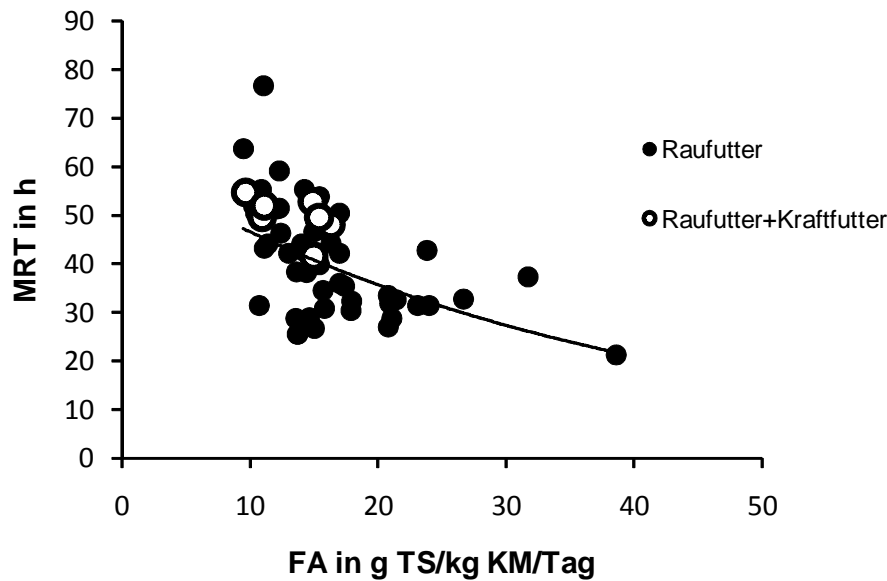


Abb. 5: Zusammenhang zwischen aufgenommener Futtermenge in g TS/kg KM/Tag und MRT für Raufutter und gemischte Rationen aus Rau- und Kraftfutter nach Tabelle 1 und 2

Ein unabhängiger Effekt wurde hingegen für Melasse beobachtet. Ein Versetzen des Raufutters mit Melasse führte bei gleichbleibendem NDF-Gehalt zu einer Verkürzung der Passagedauer (PEARSON et al. 2001). Auch bei Verfütterung von Grassilage fällt eine, im Verhältnis zum NDF-Gehalt, extrem niedrige MRT auf (MOORE-COLYER et al. 2003).

2.2 Scheinbare Verdaulichkeit beim Pferd

Die scheinbare Verdaulichkeit der einzelnen Futterbestandteile wird z.T. erheblich durch ihren Gehalt im Futter bestimmt.

2.2.1 Scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Bruttoenergie

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse verschiedener Studien zur scheinbaren Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Bruttoenergie bei Raufuttermischungen zusammengestellt. Auf die Verdaulichkeit der Rohfaser wird hier nicht eingegangen, da sie der Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen ähnlich ist, und für diese mehr Daten zur Verfügung standen (siehe 2.2.1.2).

*Tab. 3: Scheinbare Verdaulichkeit von Rohnährstoffen und Bruttoenergie aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge
in g TS/kg KM/Tag*

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pony	Grassilage (Fahrsilo)	317	9,2	337	916		154				18,6	66,7	67,3		67,6				64,6	Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	505	9,6	865	907		171				18,0	68	69		74				65	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pony	Stroh (ammoni- siert)	201	10,1	923	922	78	91	9	470	352			43,5		44	3,1	48	38,2		Lindemann (1982)	rationiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	548	10,4	865	907		171				18,0	69	68		77				64	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	10,4	900	896		29				17,3	48	48		-3					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	505	10,5	844	908		138				18,1	58	59		64				55	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	10,7	900	896		29				17,3	36	34		5					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pony	Stroh+ Mineralbrikett	348	10,7	903	908	48	29	8	423	450			29,6	6,5	18,5	-40	25,9	35,9		Güldenhaupt (1979)	rationiert
Pony	Heu	395	11,0	907	918	82	141	12	334	430										Günther (1984)	rationiert

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	11,1	900	896		29				17,3	49	46		1					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	174	11,2	865	907		171				18,0	67	70		74				65	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	548	11,5	844	908		138				18,1	61	60		68				57	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	505	12,1	764	914		48				17,2	50	51		10				47	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	505	12,3	815	908		100				17,8	55	56		58				53	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	108	12,4	865	907		171				18,0	59	62		66				57	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	174	12,4	844	908		138				18,1	62	64		66				59	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	548	13,1	815	908		100				17,8	56	55		55				53	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh
Pferd	Heu	553	13,2	882	944	56	81		375		18,9	56,7	56,4		57,5				54,5	Peiretti et al. (2006)	rationiert

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	13,6	900	896		29				17,3	26	26		-33					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Heu	280	13,7	861			102					48			58					Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	548	13,7	764	914		48				17,2	48	48		10				43	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pony	Grünmehl	260	13,7				111	30	247	524	17,2	69			81	63	52	77	69	Fehrle (1999)	rationiert
Pony	Heu (gehäckselt)	282	13,8	860			105					50			58					Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	108	14,1	844	908		138				18,1	52	52		56				48	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	14,2	906	850		172				17,6	62	62		73					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd	Heu	535	14,2	896	922	78	80		321		19,1	48,1	49,5		54,7				48,1	Peiretti et al. (2006)	rationiert
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	174	14,3	815	908		100				17,8	56	59		57				56	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	178	14,4	936	948		39				17,7	43	45		-10					Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Grassilage	292	14,6	353			166					67			74					Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pony	Heu	333	14,7	922	946		44				17,4	38,9	40		19,8				33,1	Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	549	14,9				171	18				45,9			67	-7,8				Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	108	15,0	815	908		100				17,8	54	55		55				52	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	182	15,0	937	913		146				17,6	66	66		81					Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Grassilage (gehäckselt)	294	15,2	371			166					67			74					Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pony	Stroh	260	15,2				21	14	415	500	16,9	31			-50	16	40	33	29	Fehrle (1999)	rationiert
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	174	15,3	764	914		48				17,2	48	52		10				47	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pony	Heu (später Schnitt)	214	15,4	901	897		65				17,5	51	51		46					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	108	15,5	764	914		48				17,2	46	51		8				47	Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pony	Grünmehl+ Heu	260	15,5				102	23	267	539	17,6	64			75	42	52	69	62	Fehrle (1999)	rationiert
Esel	Heu (später Schnitt)	207	15,7	901	897		65				17,5	52	51		47					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	15,8	901	893		63				17,4	54	53		47					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	182	16,3	936	948		39				17,7	50	49		9					Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pony	Heu	387	16,5	912	913	87	156	16	344	398			57,9	49	66	23,3	60,2	54,2		Verthein (1981)	rationiert
Pony	Heu	367	16,5	866	882	118	155	32	292	404			53,4	51	68,6	50,8	50,3	50,2		Schmidt (1980)	rationiert
Pferd	Heu gehäckselt (Luzerne+ <i>Dact. glom.</i> , 50:50)	230	17,0		907	93	155					51,4	52,1		72,6					Drogoul et al. (2000)	

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Heu, pelletiert (Luzerne+ <i>Dact. glom.</i> , 50:50)	230	17,0		898	102	159					53,8	55,2		71,5					Drogoul et al. (2000)	
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	251	17,0	936	948		39				17,7	40	43		-11					Pearson et al. (2001)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	549	17,1				144	25				55,5			48,1	-38				Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert
Pony	Grassilage (Ballen)	341	17,3	500	937		111				17,8	61	61,8		66,4				55,3	Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	17,4	901	893		63				17,4	53	54		41					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pony	Heu	260	17,7				94	16	287	553	17,9	65			72	27	60	69	63	Fehrle (1999)	rationiert
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	241	17,9	937	913		146				17,6	58	58		68					Pearson et al. (2001)	rationiert
Pferd	Luzerne (Heu+Cobs)	508	18,0	912		86	155	26				54,6		45,5	69,7	29,9				Pagan et al. (1998)	rationiert
Pferd	Heu (Luzerne+ <i>Dactylis glomerata</i>)	474	18,0			92	138	14				56,8		42,7	69,3	15				Holland et al. (1998)	rationiert (2%KM)

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pony	Grünmehl+ Stroh	260	18,4				58	21	345	510	17,2	55			58	40	54	58	53	Fehrle (1999)	rationiert
Pony	Heulage	340	18,4	676	934		70				17,5	57	57,3		48,4				51,9	Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Leysum angustus Trin.</i>)	334	19,2				68				18,0	47			53,6				44,2	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Avena sativa</i>)	334	19,3				72				18,2	47,5			59,6				46,8	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Poa pratensis</i>)	334	19,6				113				18,2	44,8			59,3				44,4	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Agropyron cristatum</i>)	334	20,1				57				18,2	42,1			29,2				40,5	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Heu (später Schnitt)	214	20,8	901	897		65				17,5	53	56		40					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Heu (später Schnitt)	207	20,9	901	897		65				17,5	54	53		43					Pearson et al. (2006)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Heu (<i>Cynodon dactylon</i>)	354	20,9			60	113					46	60							LaCasha et al. (1999)	ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	21,1	901	893		63				17,4	53	53		52					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	21,4	906	850		172				17,6	67	67		70					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	130	22,3	915		84	178	23	336	380		52	53		67	-26	36	67		Haenlein et al. (1966)	
Pferd	dehydr. Luzerne pelletiert	334	23,0				221				18,5	62,8			69,7				58,6	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	23,1	901	893		63				17,4	56	56		44					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	334	23,6				59				17,4	38,5			51,6				38,4	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	23,8	906	850		172				17,6	73	72		90					Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd	Heu, gehäckselt (<i>Bothriochloa caucasica</i>)	411	23,8				70					44			43					Crozier et al. (1997)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	254	24,0	936	948		39				17,7	43	44		-3					Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu, gehäckselt (<i>Festuca arundinacea</i>)	411	25,8				110					48			67					Crozier et al. (1997)	ad lib.
Pferd	Luzerne (Brikett)	130	26,2	918		70	172	26	344	388		53	54		69	-14	35	70		Haenlein et al. (1966)	
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +molassiert)	197	26,7	937	913		146				17,6	63	63		75					Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus inermus</i>)	334	26,8				105				18,5	47,7			50,9				45,2	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	334	27,0				209				18,6	64,4			71,7				59,6	Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerne (pelletiert)	130	27,7	912		92	173	19	328	388		52	52		68	-23	30	68		Haenlein et al. (1966)	
Pferd	Luzerneheu, gehäckselt	411	28,2				190					58			73					Crozier et al. (1997)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus wildenowii</i>)	354	28,2			120	135					51	64							LaCasha et al. (1999)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Luzerneheu	354	30,8			120	200					63	74							LaCasha et al. (1999)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	31,7	906	850		172				17,6	71	69		88					Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	266	38,6	937	913		146				17,6	58	58		67					Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu, vor Blüte (80% Luzerne, 20% <i>Dactylis glomerata</i>)	133- 150		930		104	151	35	283	427	18,0	69,1			74,5	46,1	58,2	75,1		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Heu, frühe Blüte (80% Luzerne, 20% <i>Dactylis glomerata</i>)	133- 150		912		96	144	27	327	407	18,0	61,7			72,1	6	54,8	67,2		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Heu, Mitte Blüte (80% Luzerne, 20% <i>Dactylis glomerata</i>)	133- 150		939		82	91	17	387	423	18,2	57,3			55,2	-6,4	53,2	62,9		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Heu, vor Blüte (<i>Phleum pratense</i>)	133- 150		939		76	100	33	325	467	18,5	65,9			65,2	31,6	65,4	71		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Heu, frühe Blüte (<i>Phleum pratense</i>)	133-150		945		63	83	30	351	473	18,8	60,6			62,1	17,6	59,7	64,6		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Heu, Mitte Blüte (<i>Phleum pratense</i>)	133-150		906		55	65	28	364	489	18,8	59,3			55,3	16	57,9	63,9		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Wiesenheu, vor Blüte (80% <i>Dactylis glomerata</i>)	133-150		929		81	140	29	309	441	18,3	63,1			68,3	26,3	58,5	67,8		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Wiesenheu, frühe Blüte (80% <i>Dactylis glomerata</i>)	133-150		932		76	109	34	323	459	18,6	60,1			66,9	33	51,6	65,8		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Wiesenheu, Mitte Blüte (80% <i>Dactylis glomerata</i>)	133-150		909		59	65	27	380	469	18,3	54,7			52,4	17,3	49,8	61		Darlington u. Hershberger (1968)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Festuca arundinacea</i>)	384-427		922		7	95	19	389	430		46,8			57,3	9,9	42,2	55		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	384-427		914		8	112	33	354	425		50,5			61,6	22	38,4	65,9		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	384-427		917		65	138	21	392	384		48,2			57,5	5,9	45,3	57		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	384-427		923		6	83	25	393	438		50,4			54,1	19	45,4	62		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	384-427		909		74	114	19	441	353		52,1			65,2	5	39,5	72,2		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Trifolium pratense</i>)	384-427		901			142	29	295	436		60,1			59,6	29,3	43,9	77,3		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Festuca arundinacea</i>)	395-474		890		7	84	21	379	449		46,3			38,4	43,6	43,4	45,6		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Dactylis glomerata</i>)	395-474		897		7	90	34	345	461		47,2			37,4	44,3	45,4	45,5		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	395-474		886		8	117	28	379	398		48,6			44,8	41,3	49,3	47,3		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	395-475		895		9	160	26	312	418		58,5			59,2	23,8	36,4	56,7		Fonnesbeck et al. (1967)	ad lib.
Pferd	Heu (Prärie)	429-544		897			47				16,4	50,1			32,7				48	Harbers et al. (1981)	

Fortsetzung Tab. 3:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt								Verdaulichkeit								Quelle	Ration
				TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	Nfe g/kg TS	GE MJ/kg TS	TS %	oS %	Ra %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %		
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	429- 544		900			94				16,7	52,2			64,5				48,9	Harbers et al. (1981)	
Pferd	Heu (<i>Festuca arundinacea</i>)	429- 544		889			78				16,4	41,5			63,8				41,1	Harbers et al. (1981)	
Pony	Weizenstroh	200			928		35		424				39,4		0					Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Esel	Weizenstroh	241			928		35		424				39,9		0					Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Dactylis glomerata</i>)	462		873	928	72	114	52	342	421	19,2	50	48,9	48,5	60,3	46,9	43,1	53,2	46,2	Vander Noot u. Gilbreath (1970)	rationiert
Pferd	Luzerneheu	462		889	910	90	182	32	313	381	19,1	60,8	56,4	67,7	75,4	31,2	39,1	72,3	56,4	Vander Noot u. Gilbreath (1970)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	462		867	947	53	83	34	360	469	19,1	49,5	49,1	48,2	54,5	48,5	43,9	53	46,3	Vander Noot u. Gilbreath (1970)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	462		886	944	56	59	34	381	470	19,0	38,8	38,3	42,7	43,6	39,6	34,5	41,2	36,3	Vander Noot u. Gilbreath (1970)	rationiert
Pferd	Heu				912	88	121	27	320	444	18,2		63		66,4	28,8	57,3	68,3	60,4	Zeyner et al. (1992)	

Zwischen dem Gehalt im Futter und der scheinbaren Verdaulichkeit der organischen Substanz besteht bei Raufutter nur ein geringer Zusammenhang (siehe Abb. 6). Der Gehalt an organischer Substanz variiert mit Werten zwischen 850 g/kg TS bei Luzerneheu (PEARSON et al. 2006) und 948 g/kg TS bei Haferstroh (PEARSON et al. 2001) nur wenig. Bei der scheinbaren Verdaulichkeit der organischen Substanz sind jedoch erhebliche Schwankungen vorhanden. So findet man einen Minimalwert von 26% bei Gerstenstroh (PEARSON et al. 2006) und einen sehr hohen Wert von 70% bei Luzerneheu (CUDDEFORD et al. 1995), während der Gehalt an organischer Substanz mit 896g/kg TS beim Stroh und 907g/kg TS beim Luzerneheu hier nahezu identisch ist.

In einzelnen Studien ist jedoch eindeutig ein Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit der organischen Substanz bei zunehmendem Gehalt in der Ration zu erkennen (CUDDEFORD et al. 1995, MOORE-COLYER und LONGLAND 2000, PEARSON et al. 2001, PEARSON et al. 2006).

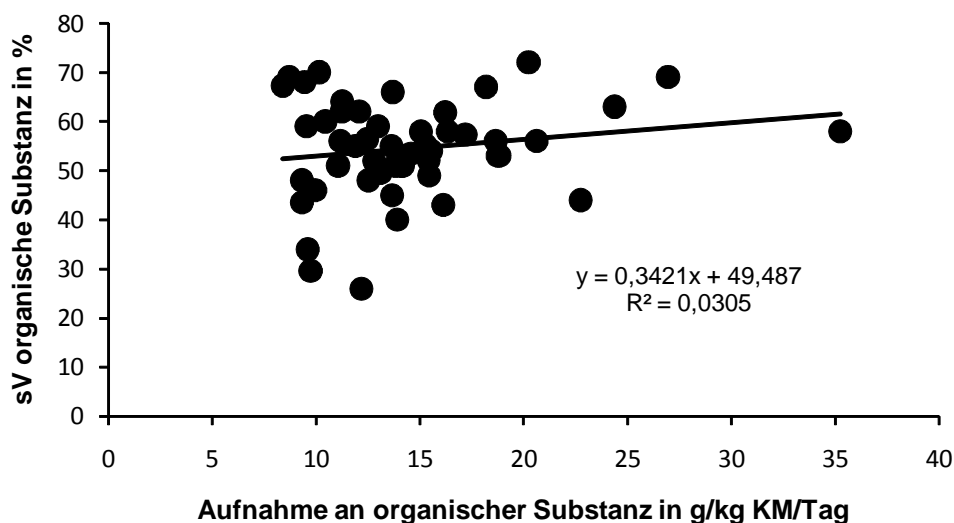


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Aufnahme in g/kg KM/Tag und Verdaulichkeit in % der organischen Substanz bei Raufutter nach Tabelle 3

Beim Rohprotein findet man eine deutliche Zunahme der scheinbaren Verdaulichkeit bei steigendem Proteingehalt in der Ration (siehe Abbildung 7). So werden bei Leguminosenheu mit einem Proteingehalt von 170-190g/kg TS Werte für die scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins von über 70% beschrieben (PEARSON et al. 2006, CUDDEFORD et al. 1995, CYMBALUK 1990, CROZIER et al. 1997). In den Versuchen von PEARSON et al. (2006) haben Ponies das Rohprotein aus

Luzerneheu sogar zu 88% bei ad libitum bzw. 90% bei rationierter Fütterung verdaut. Auch bei eiweißreichem Heu (ORDAKOWSKI-BURK et al. 2006, VERTHEIN 1981, SCHMIDT 1980) und Grassilage (MOORE-COLYER und LONGLAND 2000) ist die scheinbare Verdaulichkeit mit 65-74% noch sehr hoch. Umgekehrt kommt es bei Proteingehalten von weniger als 50g/kg TS zu einem drastischen Absinken der scheinbaren Verdaulichkeit. Bei PEARSON et al. (2001) und FEHRLE (1999) findet man bei einer reinen Strohration sogar negative Werte.

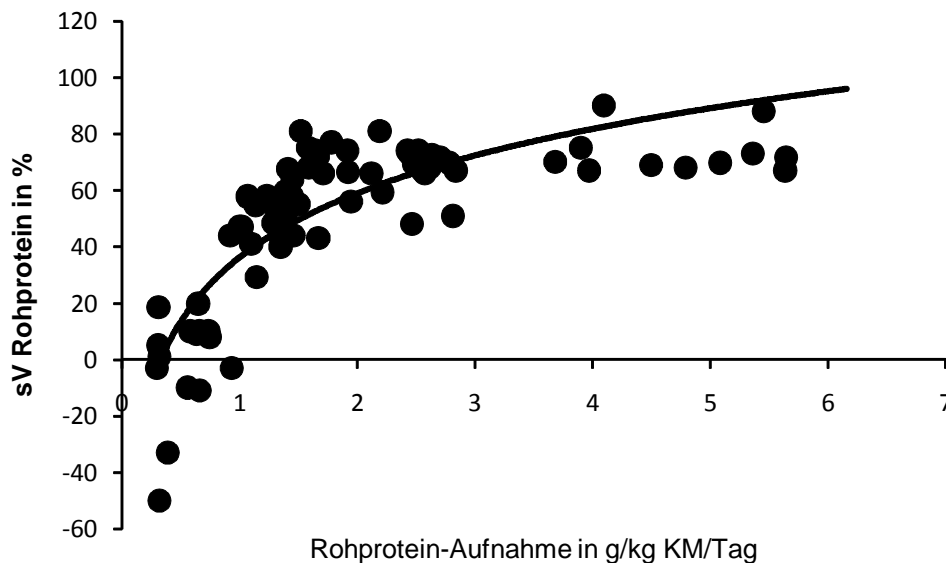


Abb. 7: Zusammenhang zwischen Rohprotein-Aufnahme in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit in % bei Raufutter nach Tabelle 3

Auch beim Rohfett steigt die scheinbare Verdaulichkeit mit zunehmendem Gehalt im Futter an (siehe Abbildung 8). Allerdings ist der Zusammenhang weniger deutlich als beim Rohprotein, und die Werte für die scheinbare Verdaulichkeit bei gleichem Fettgehalt variieren sehr stark. So findet man z.B. für einen Rohfettgehalt von 23g/kg TS bei FEHRLE (1999) eine scheinbare Verdaulichkeit von 42%, bei HAENLEIN et al. (1966) hingegen von -26%. Diese deutlichen Abweichungen ergeben sich jedoch vor allem beim Vergleich von Werten aus verschiedenen Studien. Betrachtet man die Ergebnisse der einzelnen Arbeiten gesondert, so ist häufig eindeutig ein Anstieg der scheinbaren Fettverdaulichkeit mit zunehmendem Gehalt im Futter zu erkennen (FEHRLE 1999, DARLINGTON und HERSHBERGER 1968). Allerdings gibt es z.T. auch innerhalb einer Studie deutliche Abweichungen. So fanden z.B. FONNESBECK et al. (1967) für zwei verschiedene Heuarten mit einem Fettgehalt von 33g/kg TS

eine scheinbare Verdaulichkeit von 22% beim einen und von 47,5% beim anderen Heu.

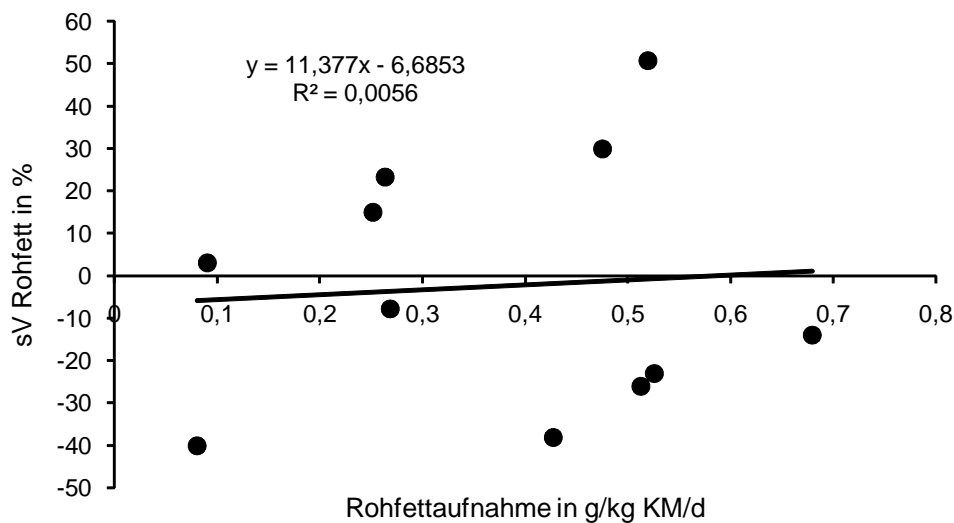


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Rohfettaufnahme in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit bei Raufutter in % nach Tabelle 3

Bei den stickstofffreien Extraktstoffen ist keinerlei Zusammenhang zwischen dem Gehalt im Futter und der Verdaulichkeit erkennbar. So beschreibt z.B. LINDEMANN (1982) bei Fütterung von ammonisiertem Stroh mit einem Nfe-Gehalt von 352g/kg TS eine Verdaulichkeit von 38,2%, während bei FONNESBECK et al. (1967) für Luzerneheu mit einem Nfe-Gehalt von 353g/kg TS eine Verdaulichkeit von 72,2% erreicht wurde. Bei FEHRLE (1999) lag die Nfe-Verdaulichkeit von Stroh mit einem Gehalt von 500g/kg TS nur bei 33%.

2.2.2 Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse für die scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen aus verschiedenen Studien zusammengefasst.

Tab. 4: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen aufsteigend nach der aufgenommenen Futtermenge

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	505	9,6	401	317		43	49		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	548	10,4	401	317		44	47		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	10,4	823	524		59	38		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	505	10,5	459	328		42	40		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	10,7	823	524		40	33		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Gerstenstroh (gehäckselt)	207	11,1	823	524		55	49		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	174	11,2	401	317		45	50		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	548	11,5	459	328		43	39		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	505	12,1	621	389		47	42		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Highl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	505	12,3	523	365		41	38		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 100:0	108	12,4	401	317		43	42		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	174	12,4	459	328		50	46		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	548	13,1	523	365		44	38		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert

Fortsetzung Tab. 4:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Pferd	Heu	553	13,2	617	383					Peiretti et al. (2006)	rationiert
Pony	Gerstenstroh (gehäckselt)	214	13,6	823	524		38	25		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Heu	280	13,68	695	397		43	39		Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd (Engl. Vollbl.)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	548	13,7	621	389		41	37		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pony	Heu (gehäckselt)	282	13,76	706	395		46	42		Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 67:33	108	14,1	459	328		33	31		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	14,2	348	254		50	36		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	174	14,3	523	365		47	42		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	178	14,4	715	487		46	46		Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Grassilage	292	14,62	505	307		62	64		Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	549	14,94	654	335		37,8	24,3		Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 33:67	108	15	523	365		46	42		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	182	15	443	339		54	50		Pearson et al. (2001)	rationiert
Pony	Grassilage (gehäckselt)	294	15,17	503	305		61	63		Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert

Fortsetzung Tab. 4:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Esel	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	174	15,3	621	389		49	44		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Pony	Heu (später Schnitt)	214	15,4	781	441		57	48		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd (Shetl. Pony)	Luzerneheu: Haferstroh 0:100	108	15,5	621	389		47	44		Cuddeford et al. (1995)	Energie- Erh.-bed. Stroh melassiert
Esel	Heu (später Schnitt)	207	15,7	781	441		57	34		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	15,8	626	368		48	28		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Esel	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	182	16,3	715	487		51	51		Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu gehäckselt (Luzerne+ <i>Dact. glom.</i> , 50:50)	230	17	629	409		44,2	39,6		Drogoul et al. (2000)	
Pferd	Heu, pelletiert (Luzerne+ <i>Dact. glom.</i> , 50:50)	230	17	589	356		47	39,6		Drogoul et al. (2000)	
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	251	17	715	487		48	43		Pearson et al. (2001)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	549	17,12	626	350		54,5	41,9		Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	17,4	626	368		53	41		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	241	17,9	443	339		42	39		Pearson et al. (2001)	rationiert
Pferd	Luzerne (Heu+Cobs)	508	17,95	527,4	405,6	85,79	40,9	39,1		Pagan et al. (1998)	rationiert
Pferd	Heu (Luzerne+ <i>Dact. glom.</i>)	474	18	601	320		53,2	46,6		Holland et al. (1998)	rationiert (2%KM)

Fortsetzung Tab. 4:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Esel	Weizenstroh	117	18,77	771	484	59	50,9	42		Izraely et al. (1989)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Leysum angustus Trin.</i>)	334	19,2	749	484		49,9	39,4		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Avena sativa</i>)	334	19,3	685	457		44,3	36,9		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Poa pratensis</i>)	334	19,6	727	459		50,8	39,7		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Agropyron cristatum</i>)	334	20,1	689	427		40,6	28,8		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Heu (später Schnitt)	214	20,8	781	441		60	43		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Heu (später Schnitt)	207	20,9	781	441		60	37		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Cynodon dactylon</i>)	354	20,9	783	400	70	52	26		LaCasha et al. (1999)	ad lib.
Esel	Heu (früher Schnitt)	207	21,1	626	368		47	32		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Esel	Luzerneheu (gehäckselt)	207	21,4	348	254		51	39		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd	dehydr. Luzerne pelletiert	334	23	439	289		49,4	37,9		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Heu (früher Schnitt)	214	23,1	626	368		57	37		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	334	23,6	655	448		33,7	21,1		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	23,8	348	254		49	53		Pearson et al. (2006)	70% von ad lib.
Pferd	Heu, gehäckselt (<i>Bothriochloa caucasica</i>)	411	23,84	730	390	60	41	33	-24	Crozier et al. (1997)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 4:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Pony	Haferstroh (gehäckselt+ melassiert)	254	24	715	487		47	46		Pearson et al. (2001)	ad lib.
Esel	Luzerneheu	129	25,11	475	319	61	54,2	46,8		Izraely et al. (1989)	ad lib.
Pferd	Heu, gehäckselt (<i>Festuca arundinacea</i>)	411	25,79	720	400	60	44	37	11	Crozier et al. (1997)	ad lib.
Esel	Luzerneheu (gehäckselt +molassiert)	197	26,7	443	339		47	47		Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	334	26,8	595	356		44,4	29,1		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	334	27	414	312		50,7	42,5		Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerne (pelletiert)	130	27,69							Haenlein et al. (1966)	
Pferd	Luzerneheu, gehäckselt	411	28,22	550	430	120	47	45	32	Crozier et al. (1997)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus wildenowii</i>)	354	28,25	624	361	60	47	20		LaCasha et al. (1999)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	354	30,79	365	303	70	24	21		LaCasha et al. (1999)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt)	214	31,7	348	254		43	39		Pearson et al. (2006)	ad lib.
Pony	Luzerneheu (gehäckselt +melassiert)	266	38,6	443	339		38	37		Pearson et al. (2001)	ad lib.
Pferd	Heu (Prärie)	129-544		694,3	456,6			47,32		Harbers et al. (1981)	
Pferd	Heu (<i>Bromus inermis</i>)	129-544		708	399,7			41,54		Harbers et al. (1981)	
Pferd	Heu (<i>Festuca arundinacea</i>)	129-544		752,2	444,9			30,94		Harbers et al. (1981)	

Fortsetzung Tab. 4:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt			Verdaulichkeit			Quelle	Ration
				NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	NDF %	ADF %	ADL %		
Pony	Weizenstroh	200		771	465		39,7	39,2		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Esel	Weizenstroh	241		771	465		40,7	37,8		Suhartanto et al. (1992)	ad lib.
Pferd	Heu			612	364	38	60,1			Zeyner et al. (1992)	

Für die scheinbare Verdaulichkeit von NDF und ADF besteht kein eindeutiger Zusammenhang. Die kleinsten Werte findet man bei Futter mit niedrigem bis mittlerem NDF-Gehalt (LACASHA et al. 1999, CUDDEFORD et al. 1995, CYMBALUK 1990), die Maximalwerte bei mittleren bis hohen NDF-Gehalten (ZEYNER et al. 1992, PEARSON et al. 2006, MOORE-COLYER und LONGLAND 2000). Allerdings gibt es auch bei Futter mit ähnlichem NDF-Gehalt sehr unterschiedliche Ergebnisse für die scheinbare Verdaulichkeit. Bei PEARSON et al. (2006) erreichten Ponies bei Luzerneheu mit 348g NDF/kg TS eine Verdaulichkeit von 43%, während bei LACASHA et al. (1999) von einer scheinbaren Verdaulichkeit von nur 24% bei Fütterung eines Luzerneheus mit 365g NDF/kg TS an Pferde berichtet wird. Ursache für diese Unterschiede dürfte die Tatsache sein, dass es sich bei der NDF nicht um einen Nährstoff mit einer bestimmten Zusammensetzung handelt, sondern um eine Gruppe verschiedener Substanzen, die in wechselnden Anteilen in den einzelnen Futtermitteln vorkommen. Die Verdaulichkeit der NDF hängt vor allem davon ab, wie viel Lignin, das prinzipiell als unverdaulich gilt, enthalten ist. Leider ist in der Literatur nur selten der ADL-Gehalt des Futters angegeben.

Zu anderen ist die deutliche Varianz der Ergebnisse auch auf Speziesunterschiede zurückzuführen. So fanden CUDDEFORD et al. (1995) beim Vergleich mehrerer Raufutter mit verschiedenem NDF-Gehalt bei Highland-Ponies, Shetland-Ponies und Eseln die beste scheinbare Verdaulichkeit bei Stroh, während Englische-Vollblüter hier den schlechtesten Wert erreichten. Bei PEARSON et al. (2001) zeigten Esel mit 47% eine deutlich höhere scheinbare Verdaulichkeit der NDF als Ponies mit 37%.

Auf die scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe hat der NDF-Gehalt einen erheblichen Einfluss. Mit zunehmendem NDF-Gehalt sinkt die scheinbare Verdaulichkeit von organischer Substanz, Rohprotein, Rohfett und Gesamtenergie ab. Bei PEARSON et al. (2001) und PEARSON et al. (2006) ist dieser Rückgang besonders deutlich.

2.2.3 Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe und Spurenelemente

Die scheinbare Verdaulichkeit von Mineralstoffen und Spurenelementen bei Raufutter ist nur in wenigen Studien untersucht worden. Die Daten hierzu sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Verdaulichkeit von Mineralstoffen (Kalzium, Phosphor, Kalium, Natrium und Magnesium) und Spurenelementen (Kupfer, Zink) in Raufutter aufsteigend nach der Futteraufnahme in g TS/kg KM

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt							Verdaulichkeit							Quelle	Ration
				Ca g/kg TS	P g/kg TS	K g/kg TS	Mg g/kg TS	Na g/kg TS	Cu mg/kg TS	Zn mg/kg TS	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %		
Pony	Grassilage (Fahrsilo)	317	9,2	5,5	3,3		2,6				51,6	39,9		48,0				Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pony	Stroh (ammonisiert)	201	10,1	2,9	0,8	11,2	0,7	0,5			1,1	-122,0	72,4	21,2	58,8			Lindemann (1982)	rationiert
Pony	Stroh+ Mineral- brikett	348	10,7	5,1	1,9	9,0	0,9	3,2			9,4	58,9	46,6	5,7	41,6			Güldenhaupt (1979)	rationiert
Pony	Heu	395	11,0	5,7	3,0	17,6	1,8	2,9	10,7	39,7	46,4	11,2	72,2	30,9	68,7	17,0	8,7	Günther (1984)	rationiert
Pony	Heu	333	14,7	3,1	1,3		1,4				29,4	22,6		7,8				Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinacea</i>)	549	14,9	5,0	5,0	29,0	2,0	0,0	8,5	30,0	35,4	2,9	60,1	36,1		30,4	-21,0	Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert
Pony	Heu	387	16,5	4,9	3,3	17,3	1,7	2,8			47,9	8,3	77,0	34,8	34,2			Verthein (1981)	rationiert
Pony	Heu	367	16,5	4,4	4,5	31,3	1,5	1,0			52,7	20,6	77,1	33,4	60,3			Schmidt (1980)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Phleum pratense</i>)	549	17,1	4,0	3,0	16,0	3,0	0,0	7,5	24,0	55,8	-2,3	51,5	27,9		26,0	-6,5	Ordakowski- Burk et al. (2006)	rationiert

Fortsetzung Tab. 5:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt							Verdaulichkeit							Quelle	Ration
				Ca g/kg TS	P g/kg TS	K g/kg TS	Mg g/kg TS	Na g/kg TS	Cu mg/kg TS	Zn mg/kg TS	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %		
Pony	Grassilage (Ballen)	341	17,3	4,7	3,7		2,4				60,5	45,7		63,4				Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Luzerne (Heu+Cobs)	508	18,0	13,5	3,2	16,2	2,7	1,4	7,5	18,4	59,3	3,0	68,3	33,8	62,3	32,2	-29,3	Pagan et al. (1998)	rationiert
Pony	Heulage	340	18,4	0,8	2,0		1,8				70,8	24,1		66,5				Moore-Colyer u. Longland (2000)	rationiert
Pferd	Heu (<i>Leysum angustus</i>)	334	19,2	4,6	1,0						45,2	-27,4						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Avena sativa</i>)	334	19,3	3,4	1,6						27,8	-24,8						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Poa pratensis</i>)	334	19,6	4,6	1,1						39,0	-50,8						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Agropyron cristatum</i>)	334	20,1	3,7	1,4						29,4	-22,8						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	dehydr. Luzerne (pelletiert)	334	23,0	19,3	2,3						69,5	-4,6						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Phalaris arundinaceae</i>)	334	23,6	4,2	0,7						46,9	-37,4						Cymbaluk (1990)	ad lib.

Fortsetzung Tab. 5:

Tierart	Futter	KM kg	FA g TS/ kg KM	Gehalt							Verdaulichkeit							Quelle	Ration
				Ca g/kg TS	P g/kg TS	K g/kg TS	Mg g/kg TS	Na g/kg TS	Cu mg/kg TS	Zn mg/kg TS	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %		
Pferd	Heu gehäckselt (<i>Bothriochloa caucasica</i>)	411	23,8	2,7	1,4	18,0	1,8		4,0	56,0	49,0	-9,0	74,0	29,0		7,0	-2,0	Crozier et al. (1997)	ad lib.
Pferd	Heu gehäckselt (<i>Festuca arundinacea</i>)	411	25,8	2,6	2,8	23,0	2,5		5,0	17,0	42,0	3,0	73,0	32,0		8,0	-23,0	Crozier et al. (1997)	ad lib.
Pferd	Heu (<i>Bromus inermus</i>)	334	26,8	5,6	1,0						56,2	-1,9						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	334	27,0	13,0	2,0						65,0	15,6						Cymbaluk (1990)	ad lib.
Pferd	Luzerneheu	411	28,2	9,4	3,8	36,0	2,5		8,0	27,0	46,0	8,0	78,0	27,0		3,0	-9,0	Crozier et al. (1997)	ad lib.

Die Mehrzahl der in den Studien verwendeten Raufutter hat einen Kalziumgehalt zwischen 4g/kg TS und 5,7g/kg TS. Lediglich bei Stroh und einigen Heuarten lag der Kalziumgehalt nur bei etwa 3g/kg TS (LINDEMANN 1982, MOORE-COLYER und LONGLAND 2000, CROZIER et al. 1997), während bei Luzerne Werte von 9,4g/kg TS bis 19,3g/kg TS erreicht wurden (CROZIER et al. 1997, CYMBALUK 1990, PAGAN et al. 1998). Die Werte für die scheinbare Verdaulichkeit von Kalzium reichen von 1,1% (LINDEMANN 1982) bis 70,8% (MOORE-COLYER und LONGLAND 2000), ohne dass ein Zusammenhang mit dem Gehalt hergestellt werden kann. So findet man z.B. bei zwei Heurationen mit ähnlichem Ca-Gehalt bei CYMBALUK (1990) eine Verdaulichkeit von 39,0%, bei SCHMIDT (1980) hingegen von 52,7%.

Noch stärker als beim Kalzium, waren die Unterschiede bei der scheinbaren Verdaulichkeit von Phosphor. Der Phosphorgehalt in den verschiedenen Raufutterrationen reichte von 0,8-5,0g/kg TS, ohne dass einem bestimmten Futter besonders hohe oder niedrige Werte zugeordnet werden konnten. Interessant ist hier, dass sowohl der mit -122% mit Abstand am niedrigste Wert (LINDEMANN 1982), als auch der mit 58,9% höchste Wert (GÜLDENHAUPT 1979) für die scheinbare Verdaulichkeit von Phosphor bei Stroh mit einem Phosphorgehalt von 0,8 bzw. 1,9g/kg TS gefunden wurden.

Die Werte für den Natriumgehalt liegen zwischen 0,5 und 2,9g/kg TS. Beim Wert von 3,2g/kg TS bei GÜLDENHAUPT (1979) wurde zusätzlich zum Stroh ein Mineralbrikett gefüttert. Die Natrium-Verdaulichkeit ist mit 34,2% (VERTHEIN 1981) bis 68,7% (GÜNTHER 1984) relativ hoch, ebenso wie auch beim Kalium mit Werten zwischen 46,6% (GÜLDENHAUPT 1979) und 78,0% (CROZIER et al. 1997). Der Magnesiumgehalt in Raufutter ist mit 0,7g/kg TS (LINDEMANN 1982) bis 3,0g/kg TS (ORDAKOWSKI-BURK et al. 2006) relativ einheitlich, während bei der scheinbaren Verdaulichkeit mit Werten zwischen 5,7% (GÜLDENHAUPT 1979) und 66,5% (MOORE-COLYER 2000) doch große Unterschiede vorhanden sind. Auch hier ist kein Zusammenhang mit dem Gehalt im Futter erkennbar.

Für die Spurenelemente Kupfer und Zink sind nur wenige vergleichbare Daten vorhanden. Die scheinbare Verdaulichkeit von Kupfer liegt zwischen 3% (CROZIER et al. 1997) und 32,2% (PAGAN et al. 1998). Für Zink findet man nur bei GÜNTHER (1984) einen positiven Wert von 8,7%. In allen anderen Studien war die scheinbare Verdaulichkeit von Zink negativ.

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Studienziel

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss von Futtermenge und Pflanzenalter auf die mittlere Retentionszeit beim Pferd bei ausschließlicher Raufuttergabe zu untersuchen. Außerdem wurden die Veränderungen der Verdaulichkeit von Trockensubstanz, Rohnährstoffen, Energie, Mengen- und Spurenelementen für die verschiedenen Rationen ermittelt.

Zusätzlich wurden die mit dem Urin ausgeschiedenen Mengen von Kalzium, Phosphor, Natrium, Kalium und Kreatinin untersucht, um Aufschluss über die Mineralstoffversorgung bei reiner Heufütterung zu gewinnen.

3.2 Material und Methoden

3.2.1 Versuchsplan

An vier adulten Kleinpferden wurden zwei Versuchsreihen mit reiner Heufütterung durchgeführt. Im ersten Durchgang wurde ein Heu von durchschnittlicher Qualität (Heu F) und im zweiten Durchgang ein deutlich gröberes, überständiges Heu (Heu G) verwendet. In jeder Versuchsreihe wurden vier verschiedene Futtermengen gefüttert: ad libitum, 76g TS/kg^{0,75}, 53g TS/kg^{0,75} und 30g TS/kg^{0,75}. Einen Überblick über die gefütterten Heumengen gibt Tabelle 6. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in den Tabellen I-IV.

Tab. 6: Tagesrationen in g Heu/Tier

	ad lib.	76g TS/kg ^{0,75}	53g TS/kg ^{0,75}	30g TS/kg ^{0,75}
Heu F	7426 ±1493	6050 ±1021	4175 ±723	2300 ±424
Heu G	6448 ±1553	5975 ±991	4150 ±733	2275 ±377

Auf eine neuntägige Anfütterungsphase folgte jeweils eine fünftägige Bilanzphase. Am Abend des neunten Tages erhielten die Tiere Kobalt-EDTA und chromgebeizte

Faser als einmaligen Bolus, um einen Vergleich der Passage von flüssiger und partikulärer Phase zu ermöglichen. Abbildung 9 zeigt eine schematische Darstellung des Versuchsablaufes.

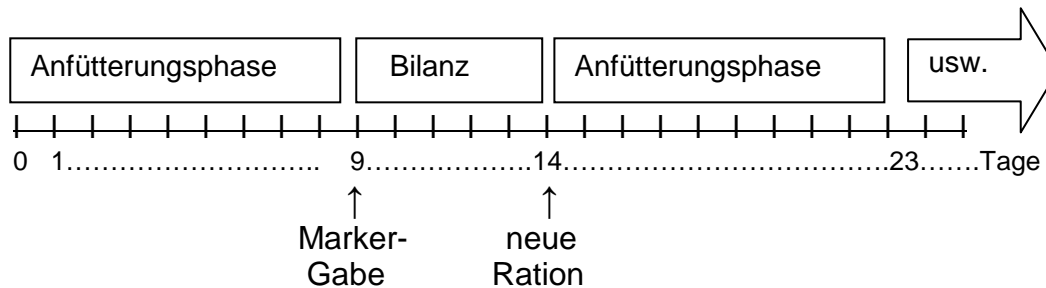


Abb. 9: Schematische Darstellung des Versuchsablaufes

Zur Bestimmung der Retentionszeit wurde während der ersten drei Tage der Bilanzphase jeder einzelne Kotabsatz quantitativ und mit genauem Zeitpunkt erfasst. Am vierten und fünften Tag wurden Kotsammelproben alle drei bzw. fünf Stunden genommen. Der Urin wurde über die gesamten fünf Tage quantitativ aufgefangen und die Tagesmenge als Sammelprobe zusammengefasst. Die Tiere wurden jeweils am Tag der Markerfütterung und am Ende jeder Bilanzphase gewogen. Letzteres Gewicht wurde bei der Berechnung der Futtermenge des nächsten Versuchsabschnittes zugrunde gelegt.

Zwischen den beiden Durchgängen lagen 20 Wochen, in denen die Tiere ihre übliche Heu-Hafer-Ration erhielten und den Gewichtsverlust der ersten Versuchsreihe ausgleichen konnten.

3.2.2 Versuchstiere

Für die Untersuchung standen vier gesunde Ponies beiderlei Geschlechts zur Verfügung: die Falbstute "Bukra 2" mit der Lebensnummer DE 398 980325385, die Schimmelstute "Sissi 467" mit der Lebensnummer DE 398 980325285, der dunkelbraune Wallach "Gharib13" mit der Lebensnummer DE 398 980325485 und der Schimmelwallach "Tarabas 16" mit der Lebensnummer DE 398 980401787. Das Alter variierte zwischen 12 und 18 Jahren.

Die Ponies wurden regelmäßig entwurmt und gegen Tetanus, Tollwut und Influenza geimpft. Vor Beginn jedes Versuchsdurchganges wurden eine Zahnkontrolle sowie eine zusätzliche Entwurmung gegen Rund- und Bandwürmer durchgeführt.

Das Gewicht der Tiere betrug zu Versuchsbeginn 286 ± 65 kg (Tab. 7).

Tab. 7: Geschlecht, Alter und Gewicht der Versuchstiere

	Name	Geschlecht	Zahnalter Jahre	KM kg
B	Bukra	Stute	ca. 15	378
S	Sissi	Stute	ca. 18	273
G	Gharib	Wallach	ca. 12	225
T	Tarabas	Wallach	ca. 18	268

3.2.3 Versuchsfutter

Während des Versuchs erhielten die Tiere eine reine Heudiät. Im ersten Durchgang wurde ein Heu mit durchschnittlicher Qualität (Heu F), im zweiten Durchgang ein überständiges Heu (Heu G) verfüttert. Die Zusammensetzung des Versuchsfutters ist aus den Tabellen 8 und 9 ersichtlich. Das überständige Heu war deutlich gröber und unterschied sich, wie aus Tabelle 8 ersichtlich, auch im Gehalt der Rohnährstoffe vom Heu des ersten Durchganges. Bei Heu G war der Proteingehalt mit 58g/kg TS nur etwa halb so hoch, wie bei Heu F mit einem Gehalt von 105g/kg TS. Der Rohfasergehalt war bei Heu G mit 354g/kg TS gegenüber 318g/kg TS bei Heu F deutlich höher. Auffällig ist, dass bei dem überständigen Heu sowohl der Bruttoenergiegehalt als auch der Gehalt an stickstofffreien Extraktstoffen etwas höher war als bei dem Heu mittlerer Qualität.

Da die Tiere im zweiten Versuchsdurchgang bei ad libitum Fütterung des überständigen Heus eine deutlich selektive Futteraufnahme zeigten, wurde auch eine Analyse des zurückgewogenen Anteils der Ration durchgeführt, die tatsächlich aufgenommene Nährstoffmengen für jeden Versuchstag nach untenstehender Formel berechnet und daraus der Mittelwert für diesen Versuchsabschnitt ermittelt:

$$X \text{ (g/100g TS)} = \frac{\text{Einwaage (g)} \times X_{\text{Heu}} \text{ (g/100g TS)} - \text{Rückwaage (g)} \times X_{\text{Rückwaage}} \text{ (g/100g TS)}}{\text{Einwaage} - \text{Rückwaage (g)}}$$

mit X = beliebiger Nährstoff

Die Zusammensetzung des selektiv aufgenommenen Anteils von Heu G bei ad libitum Fütterung ist ebenfalls in Tabelle 8 und 9 aufgeführt.

Tab. 8: Zusammensetzung des Versuchsfutters: Trockensubstanz, organische Substanz, Rohnährstoffe, stickstofffreie Extraktstoffe, Bruttoenergie, Gerüstsubstanzen und säureunlösliche Asche

	TS g/kg uS	oS g/kg TS	Ra g/kg TS	Rp g/kg TS	Rfe g/kg TS	Rfa g/kg TS	GE MJ/kg TS	Nfe g/kg TS	NDF g/kg TS	ADF g/kg TS	ADL g/kg TS	HC g/kg TS	C g/kg TS	AIA g/kg TS
Heu F	877	934	66	105	11	318	19,0	499	676	360	108	316	252	17,1
Heu G	881	956	44	58	12	354	19,3	532	695	386	120	309	266	12,5
Heu G ad lib.*	861	957	43	62	14	338	19,5	543	667	361	115	306	245	13,9

* Zusammensetzung des selektierten Anteils errechnet als gewogenes Mittel der Zusammensetzungen von Einwaage und Rückwaage

Tab. 9: Zusammensetzung des Versuchsfutters: Mineralstoffe und Spurenelemente

	Ca g/kg TS	Cu mg/kg TS	K g/kg TS	Mg g/kg TS	Na g/kg TS	P g/kg TS	Zn mg/kg TS
Heu F	5,6	4,8	3,9	22,2	1,0	3,9	24,3
Heu G	4,7	5,1	2,6	19,1	0,7	3,3	20,7
Heu G ad lib.*	4,7	5,3	2,8	19,5	0,7	3,6	20,5

* Zusammensetzung des selektierten Anteils errechnet als gewogenes Mittel der Zusammensetzungen von Einwaage und Rückwaage

3.2.4 Versuchstechnik

Die Ponies wurden während des gesamten Versuchszeitraumes in Paddockboxen gehalten. Während der Anfütterungsphase stand jedem Pony eine eigene Box mit Hanfspäneestreu und freiem Zugang zum Paddock zur Verfügung. Die Paddocks bestanden aus einer kleineren betonierte Fläche direkt vor dem Stall und einem größeren, geschotterten Bereich. Jeden Tag wurden nach Beendigung der Futteraufnahme die Abtrennungen zwischen den Paddocks geöffnet, um den Tieren gemeinsamen Auslauf auf einer größeren Fläche zu ermöglichen.

Am Tag der Markerfütterung wurde jeweils ein Teil des Auslaufs abgetrennt und der geschotterte Anteil mit Gewebeplanen bzw. Gummimatten abgedeckt, so dass eine Verunreinigung der Kotproben weitgehend vermieden werden konnte. Zu Beginn der Bilanzphase wurde auch der Zugang zu den Boxen gesperrt, da aus einem vorherigen Versuch bekannt war, dass die Ponies den Harnabsatz auf betoniertem Boden bzw. den Matten vermieden. Wenn die Tiere dann in regelmäßigen Anständen in die eingestreuten Boxen hineingelassen wurden, zeigten sie spontanen Harnabsatz, so dass ein quantitatives Auffangen des Urins während der fünftägigen Bilanzphase möglich war (vgl. STÜRMER 2005).

Während der Phase der ad libitum Fütterung hatten die Tiere jederzeit freien Zugang zum Heu. Die aufgenommene Futtermenge wurde durch Einwaage einer großen Tagesration und Rückwaage der Restmenge ermittelt. Um ein übermäßiges Selektieren zu vermeiden, wurden den Pferden häufiger kleine Mengen nachgefüttert. Da die Ponies bei dem überständigen Heu deutlich die gröberen Anteile aussortierten, wurde von diesem Heu auch eine Analyse der Rückwaage durchgeführt, um die tatsächlich aufgenommenen Nährstoffmengen zu ermitteln. Bei der rationierten Fütterung erfolgte die Heugabe in drei bzw. im letzten Versuchsabschnitt in zwei Portionen möglichst gleichmäßig über den Tag verteilt. Das Wasser wurde in skalierten Gefäßen angeboten, so dass die Wasseraufnahme gemessen werden konnte.

Zur Bestimmung der Retentionszeit wurden den Tieren am neunten Tag, zehn Stunden vor Beginn der Bilanzphase, zwei verschiedene Marker als einmaliger Bolus verabreicht. Für die Untersuchung der partikulären Phase erhielten die Pferde im ersten Durchgang 10g, im zweiten Durchgang 20g chromgebeizte Faser, mit 60g

Chrom je kg Trockensubstanz (vgl. UDÉN 1980), mit etwas Apfel- und Bananenmus vermischt. Der so angebotene Marker wurde von den Tieren innerhalb von 5-10 Minuten vollständig aufgenommen. Als Marker für die flüssige Phase wurde 1g bzw. im zweiten Durchgang 2g Kobalt-EDTA als Reinsubstanz in 15ml Wasser gelöst und mit einer Einmalspritze direkt ins Maul eingegeben.

In den ersten drei Tagen der Bilanzphase wurde jeder einzelne Kothaufen möglichst kurz nach dem Absetzen aufgesammelt und gewogen. Anschließend wurde die Probe gut durchmischt, ein repräsentativer Anteil abgefüllt, gewogen und eingefroren. Zusätzlich wurden exakt 10% jedes Kotabsatzes zu einer Sammelprobe der fünftägigen Bilanzphase zusammengefasst. Am vierten und fünften Tag wurden Sammelproben alle drei bzw. fünf Stunden genommen und wie oben beschrieben behandelt. Auch von der Sammelprobe der gesamten Bilanzphase wurde am Ende des letzten Tages nach gutem Vermischen ein repräsentativer Anteil abgefüllt, gewogen und eingefroren. Nach dem gleichen Prinzip wurden drei Proben vor der Markerfütterung genommen, um den Gehalt an Chrom und Kobalt im Kot zu ermitteln. Auch alle Kothäufen, die in den zehn Stunden zwischen der Markergabe und dem Beginn der Bilanzphase abgesetzt wurden, wurden so erfasst. Zur Bestimmung der Kotpartikelgröße wurde aus dem letzten Kotabsatz der Bilanzphase ein repräsentativer Anteil abgefüllt und eingefroren.

Die über den Tag gewonnenen Urinproben wurden zu 24-Stunden-Sammelproben zusammengefasst. Von diesen wurden unter ständigem Rühren fünf Aliquote in 10ml Plastikbehälter überführt und bei -18° C bis zur weiteren Analyse eingefroren.

Die Veränderungen der Körpermasse der Tiere wurden durch Wiegen jeweils zu Beginn und am Ende jeder Bilanzphase dokumentiert. Das Wiegen erfolgte immer zur gleichen Uhrzeit, um möglichst vergleichbare Werte zu erhalten. Zusätzlich wurde der Ernährungszustand am Tag der Markerfütterung anhand des Body Condition Score Systems nach KIENZLE und SCHRAMME (2004) beurteilt.

3.2.5 Probenvorbereitung

Die Kotproben für die Ermittlung der Retentionszeit und die Futterproben wurden im Trockenschrank bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die Kotproben für

die Verdaulichkeitsuntersuchungen wurden 72 Stunden bei 35 °C im Lyophilisator (CHRIST® Gamma 1-20) getrocknet.

Für die Bestimmung der Partikelgröße wurden die Kotproben unmittelbar vor dem Sieben bei Raumtemperatur aufgetaut.

Alle Proben wurden anschließend mit einer Mühle (Retsch ZM100) auf eine Partikelgröße von 1mm zermahlen und bis zur weiteren Analyse dunkel und trocken bei Zimmertemperatur gelagert.

Die Urinproben wurden unmittelbar vor der Analyse bei Raumtemperatur aufgetaut und der Bodensatz mit Hilfe eines Mixers gründlich aufgerührt.

3.2.6 Angewandte Untersuchungsmethoden

3.2.6.1 *Marker*

Die Markeruntersuchung wurde am IZW in Berlin durchgeführt. Vor der Analyse wurden die Proben im geschlossenen Mikrowellenaufschlusssystem *CEM MDS-2000* (*CEM GmbH, Kamp-Lintfort, Deutschland*) nassverascht. Hierzu wurde 0,2g der gemahlten Probe in eine Teflonhülse eingewogen und 8ml 65%-ige Salpetersäure und 1ml 30%-iges Wasserstoffperoxid zugegeben. Anschließend wurde 15min in der Mikrowelle verascht, die Lösung nach dem Abkühlen in Zentrifugenröhrchen überführt und mit destilliertem Wasser auf 30ml aufgefüllt.

Die Chrom- und Kobaltkonzentration der Veraschungslösung wurde mit dem *Elmer Perkin Atom-Absorptions-Spektrometer 3300* (*Bodenseewerk Perkin-Elmer, Überlingen, Deutschland*) gemessen. Hierbei wird die Probe fein zerstäubt und in eine Luft-Acetylen-Flamme gesaugt. Die in der Probe enthaltenen Atome absorbieren Strahlung bei einer für jedes Element charakteristischen Wellenlänge, so dass die Konzentration aus der Stärke der Extinktion errechnet werden kann.

3.2.6.2 *Rohnährstoffe*

Die Bestimmung der Rohnährstoffe und der Trockensubstanz in Futter und Kot wurden nach den Vorschriften der Weender Futtermittelanalyse in der Fassung von NAUMANN & BASSLER (1988) als Doppelbestimmung durchgeführt, um Messfehler auszuschließen.

Trockensubstanz (TS):

Trocknung im Trockenschrank bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz, allerdings mindestens 24h.

Rohasche (Ra):

Veraschung im Muffelofen für 8h bei 600°C.

Säureunlösliche Asche (AIA)

5g der gemahlenen und getrockneten Probe wurden für 8h bei 600°C im Muffelofen verascht. Die so gewonnene Rohasche wurde mit 75ml Salzsäure (3N) versetzt, bis zum Sieden erhitzt und für 15min gekocht. Anschließend wurde die Lösung heiß durch einen aschefreien Filter filtriert und so lange mit heißem, destilliertem Wasser nachgespült, bis der pH-Wert des ablaufenden Wassers neutral war. Der Filter mit dem Rückstand wurde getrocknet und dann für 6h bei 650°C im Muffelofen verascht und zurückgewogen.

Rohprotein (Rp):

Die Bestimmung des Rohproteins erfolgte nach der Kjeldahl-Methode. Dazu wurden 1,5g der gemahlenen Probe in Probengefäße eingewogen und nach Zugabe von zwei Kjeltabs Cu/3,5 ($3,5\text{g K}_2\text{SO}_4 + 0,4\text{g CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) und 12ml 98%-iger Schwefelsäure für 1h bei 400°C im *Foss Digestor 2020* (Firma Foss, Rellingen, Deutschland) verkocht, wodurch der in der Probe enthaltene Stickstoff in Ammoniumform überführt wird. Anschließend erfolgte die Messung des Gesamtstickstoffgehaltes mit dem *Foss Kjeltac 2400* (Foss, Rellingen Deutschland) indem durch Zugabe von Natronlauge Ammoniak freigesetzt und dessen Menge durch Titration mit Salzsäure bestimmt wird. Durch Multiplikation des Stickstoffwertes mit 6,25 ergab sich der Gehalt an Rohprotein.

Rohfett (Rfe):

Der Rohfettgehalt wurde durch Extraktion mit Petroläther nach Soxhlet ermittelt. In der *Foss Soxtec 2050 Auto Extraction Unit (Firma Foss, Rellingen, Deutschland)* wurde 5g der gemahlten Probe für etwa 1h extrahiert. Das aufgefangene Fett wurde nach Abdampfen des überschüssigen Petroläthers im Trockenschrank und Abkühlen im Exsikkator gewogen.

Rohfaser (Rfa):

Die Rohfaserbestimmung wurde mit dem *Ankom 200 Fiber Analyser (Ancom Technology Corporation, Macedon, NY, USA)* durchgeführt. 1g des Probenmaterials wurden in aschefreie Filterbeutel eingewogen und diese dann verschweißt. Die Proben wurden im Analysegerät zuerst 40min mit 1,25%-iger Schwefelsäure und anschließend 40min mit 1,25%-iger Natronlauge gekocht. Nach jedem Kochvorgang wurde mehrfach mit heißem, destilliertem Wasser gespült. Anschließend wurde 3min lang in Azeton das Fett extrahiert, die Proben dann im Trockenschrank getrocknet, nach Abkühlen im Exsikkator gewogen, für 3h bei 525°C im Muffelofen verascht und der Rückstand erneut gewogen. Der Rohfasergehalt ergibt sich durch Subtraktion des Aschewertes vom Wert des Rückstandes nach dem Trocknen.

Stickstofffreie Extraktstoffe (NfE):

Rechnerische Bestimmung: $NfE = TS - (Ra + Rp + Rfe + Rfa)$

Organische Substanz (oS):

Rechnerische Bestimmung: $oS = TS - Ra$

3.2.6.3 Gerüstsubstanzen

Für die Analyse der Gerüstsubstanzen wurde die Methode nach VAN SOEST (1967) angewandt. Die Durchführung erfolgte im Doppelansatz mit dem *Ankom 200 Fiber Analyser (Ancom Technology Corporation, Macedon, NY, USA)*.

Neutral Detergent Fiber (NDF):

0,5g Probenmaterial wurden in aschefreie Filterbeutel eingewogen, diese dann verschweißt und 1h im Analysegerät mit einer neutralen Detergentienlösung (Natriumlaurylsulfat, EDTA, pH 7) gekocht. Nach mehrfachem Waschen mit heißem, destilliertem Wasser wurde für 3min in Azeton das Fett extrahiert und die Beutel anschließend getrocknet und gewogen. Der NDF-Gehalt ergab sich durch Abzug des Aschewertes aus der nach der ADL-Bestimmung durchgeführten Veraschung (s.u.) vom Rückstandswert nach dem Trocknen.

Acid Detergent Fiber (ADF):

Die Filterbeutel mit dem Rückstand aus der NDF-Bestimmung wurden für 1h mit einer sauren Detergenzienlösung (Cethyltrimethylammoniumbromid in 1n H_2SO_4) gekocht, mit heißem, destilliertem Wasser gewaschen, in Azeton extrahiert, getrocknet und gewogen. Auch hier wurde der Aschewert der ADL-Bestimmung (s.u.) vom Rückstandswert abgezogen.

Acid Detergent Lignin (ADL):

In einem Becherglas wurden die Filterbeutel mit dem Rückstand der ADF-Bestimmung für 3h mit 72%-iger Schwefelsäure versetzt, regelmäßig umgerührt und danach mit heißem, destilliertem Wasser gewaschen, bis der pH-Wert des Waschwassers neutral blieb. Anschließend wurden die Proben in Azeton extrahiert, getrocknet, gewogen, 3h bei 525°C im Muffelofen verascht und wiederum gewogen. Der Aschewert wurde vom Rückstandswert nach dem Trocknen subtrahiert.

Hemicellulose (HC):

Rechnerische Bestimmung: $\text{HC} = \text{NDF} - \text{ADF}$

Cellulose (C):

Rechnerische Bestimmung: $\text{C} = \text{ADF} - \text{ADL}$

3.2.6.4 *Bruttoenergie*

Für Bestimmung der Bruttoenergie wurde das *IKA-Kalorimeter C 200 basic* (*IKA-Werke, Staufen, Deutschland*) verwendet. Es wurde eine Fünffachbestimmung durchgeführt, um Messfehler zu vermeiden.

0,3g der gemahlten Probe wurden in Verbrennungstüchchen aus Polyethylen mit einem definierten Brennwert eingewogen und im Analysegerät verbrannt. Aus dem Temperaturanstieg des Wassers im Kessel um die Bombe ergab sich der Brennwert der Probe.

3.2.6.5 *Mineralstoffe*

Bei den Kot- und Futterproben musste vor der Mineralstoffbestimmung eine Nassveraschung in der Mikrowelle durchgeführt werden. Hierfür wurde 0,5g der gemahlten Probe in einen Quarztiegel eingewogen und mit 5ml 65%-iger Salpetersäure versetzt und 1h im *MLS-Ethos 1600 Mikrowellen-System* (*MLS GmbH, Leutkirch, Deutschland*) aufgeschlossen. Nach dem Abkühlen wurde die Lösung in Röhrchen überführt und mit Reinstwasser auf 10ml aufgefüllt. Bei hohen Mineralstoffgehalten wurde im Rahmen der Messung eine entsprechende Verdünnung mit destilliertem Wasser hergestellt. Um Messfehler zu vermeiden wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt, indem von jeder Probe zwei Aufschlüsse gemacht wurden.

Natrium, Kalium, Kalzium

Die Bestimmung erfolgte mit dem Flammenphotometer *EFOX 5053 V2.73* (*Firma Eppendorf, Hamburg, Deutschland*). Dabei wurde die Veraschungslösung fein zerstäubt, mit Azetylen gemischt und in eine Flamme injiziert. Durch die Anregung von Atomen in der Lösung kommt es zu einem Aufleuchten der Flamme, das umso intensiver ist, je mehr Atome vorhanden sind, so dass aus der Lichtintensität auf die Konzentration eines Elementes in der Probe geschlossen werden kann. Da jedes Element in der Flamme eine charakteristische Farbe mit einer bestimmten Wellenlänge erzeugt, kann durch verschieden Filter die jeweilige Wellenlänge eines Elements selektiert und photometrisch gemessen werden.

Phosphor

Der Phosphorgehalt der Proben wurde mit dem Spektralphotometer *Genesys 10 UV* (*Firma ThermoSpectronic, Rochester, NY, USA*) gemessen. Durch Zugabe von Ammoniummolybdat und Ammoniumvanadat zur Probenlösung bildet sich zusammen mit dem in der Probe enthaltenen Phosphor ein orangegelb gefärbter Komplex, dessen Intensität der Phosphormenge entspricht. Dadurch verändert sich die Durchlässigkeit der Probe für monochromatisches Licht, was als Extinktion bei 366nm gemessen werden kann. Durch Vergleich der Messwerte mit der Extinktion einer Standardlösung mit bekannter Konzentration kann der Phosphorgehalt der Proben ermittelt werden.

Magnesium, Kupfer, Zink

Diese Elemente wurden mit dem Atomabsorptionsspektrometer 939 AAS (*Firma Unicam, Kassel, Deutschland*) bestimmt. Hierbei wird die Probe fein zerstäubt in eine Flamme gesaugt. Jedes Element absorbiert Strahlung einer bestimmten Wellenlänge. Die gemessene Extinktion ist proportional zur Konzentration des jeweiligen Elementes in der Probe.

3.2.6.6 Kot-Partikelgröße

Für die Bestimmung der Kot-Partikelgröße wurden 5g Kot abgewogen und in der Laborsiebmaschine (*Firma Retsch*) unter Wasserzufluss für 10 Minuten durch Siebe mit der Maschenweite 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm und 0,063mm gesiebt. Die Rückstände wurden in Petrischalen überführt und im Trockenschrank bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz, mindestens jedoch 48 h, getrocknet. Zusätzlich wurden von jeder Probe 5g in eine Petrischale eingewogen und zur Bestimmung der Trockensubstanz zusammen mit den Siebrückständen getrocknet.

3.2.6.7 *Urin*

Zur Untersuchung des Mineralstoff- und Kreatiningehaltes wurden jeweils die Proben von zwei Einzeltagen der fünftägigen Bilanzphase gepoolt und als repräsentative Probe für diesen Versuchsabschnitt untersucht. Es wurden Doppelbestimmungen durchgeführt, um Messfehler zu vermeiden.

Natrium, Kalium und Kalzium:

Um das gebundene Kalzium freizusetzen, wurde 1ml der Poolprobe mit 4ml 10%-iger Salzsäure gemischt und über Nacht stehen gelassen. Die Messung der Natrium-, Kalium- und Kalziumgehalte erfolgte nach dem gleichen Prinzip, wie bei den Kot- und Futterproben (s.o.).

Phosphor:

Die Bestimmung des Phosphorgehaltes erfolgte direkt nach dem Auftauen aus den unbehandelten Proben. Es wurde die gleiche Methode wie bei den Kot- und Futterproben angewendet.

Kreatinin:

Die Messung des Kreatininwertes erfolgte als ELISA aus den unbehandelten Proben mittels eines Testkits der Firma *Metra Biosystems (Quidel ,Deutschland GmbH, Heidelberg, Deutschland)*. Dabei werden die Proben mit Pikrinsäure versetzt, die mit Kreatinin einen gelben Farbkomplex bildet, dessen Farbintensität der Kreatininkonzentration direkt proportional ist. Die Farbintensität wurde photometrisch bei 490nm mit dem Assay-Reader *Sunrise Remote (Firma Tecan, Gröding, Österreich)* gemessen und die Kreatininkonzentration anhand der durch Standardmessungen erstellten Eichgeraden ermittelt.

3.2.7 Berechnungsmethoden

3.2.7.1 *Scheinbare Verdaulichkeit*

Die scheinbare Verdaulichkeit ist die Differenz der mit dem Futter aufgenommenen und der mit dem Kot ausgeschiedenen Nährstoffmenge und wird in Prozent der Nährstoffaufnahme angegeben. Sie wurde mit folgender Gleichung berechnet:

$$sV (\%) = \frac{\text{Nährstoff im Futter} - \text{Nährstoff im Kot}}{\text{Nährstoff im Futter}} \times 100$$

3.2.7.2 *Wahre Verdaulichkeit*

Bei der Berechnung der wahren Verdaulichkeit wird der Anteil der endogenen Sekretion eines Nährstoffes, der mit dem Kot ausgeschieden wird, berücksichtigt. Die Berechnung erfolgte mit nachstehender Formel:

$$wV (\%) = \frac{\text{Nährstoff im Futter} - (\text{Nährstoff im Kot} - \text{endogene Verluste})}{\text{Nährstoff im Futter}} \times 100$$

3.2.7.3 *Mittlere Retentionszeit (MRT)*

Zur Auswertung der Passagerate wurde die MRT nach der Formel von THIELEMANS et al. (1978) berechnet:

$$MRT = \frac{\sum t_i \times C_i \times dt_i}{\sum C_i \times dt_i}$$

mit: C_i = Konzentration des Markers in der Probe zur Zeit t_i

t_i = Zeit nach Markerfütterung (in h)

dt_i = berechneter Zeitabstand der jeweiligen Probe

$$dt_i = \frac{(t_{i+1} - t_i) + (t_i - t_{i-1})}{2}$$

3.2.7.4 Kot-Partikelgröße

Die Berechnung der Kot-Partikelgröße erfolgte als "Modulus of Fineness" nach der Methode von POPPI et al. (1980):

$$\text{M.o.F.} = \frac{(9 \times x_1) + (8 \times x_2) + (7 \times x_3) + (6 \times x_4) + (5 \times x_5) + (4 \times x_6) + (3 \times x_7) + (2 \times x_8) + (1 \times x_9)}{100}$$

mit: x_1 = TS-Rückstand in Sieb 1 in % der insgesamt retinierten TS

x_2 = TS-Rückstand in Sieb 2 in % der insgesamt retinierten TS

usw.

3.2.7.5 Harnvolumen

Das Harnvolumen wurde aus dem Kreatinin-Gehalt des Urins nach der Formel von MEYER und STADERMANN (1990) wie folgt berechnet:

$$\text{Harnvolumen [ml/kg KM} \times \text{H]} = 24,3 + \frac{14067}{\text{Kreatinin [mg/dl]}}$$

3.2.8 Statistische Methoden

Folgende Methoden wurden verwendet:

- Bei der Darstellung der Ergebnisse in den Tabellen handelt es sich um die als arithmetischen Mittelwert zusammengefassten Einzelwerte der Versuchstiere mit Standardabweichung. Die Darstellung in den Tabellen erfolgt als Mittelwert \pm Standardabweichung.
- Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (ANOVA) mit dem Futteraufnahme-Level als „within subject“ Faktor und einem anschliessenden Vergleich der „estimated marginal means“ ohne Adjustierung für mehrfache Vergleiche zur Beurteilung der Mittelwertsdifferenzen mehrerer Mittelwerte. Signifikant abweichende Mittelwerte ($p < 0,05$) sind in den Tabellen durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

-
- Regressions- und Korrelationsberechnungen zur Darstellung der Wechselbeziehungen zweier Parameter.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Gesundheitszustand

Das Allgemeinbefinden der Tiere war sowohl während der beiden achtwöchigen Versuchsphasen als auch in der dreimonatigen Pause zwischen den Versuchsblöcken ungestört.

3.3.2 Ernährungszustand und Gewichtsentwicklung

In der nachfolgenden Tabelle (Tab. 10) sind das Körpergewicht, das metabolische Körpergewicht und der Body Condition Score als Mittelwert und Standardabweichung für jeden Versuchsabschnitt angegeben. Die Werte der einzelnen Tiere sind als Tabelle V-VIII im Anhang zu finden. Es ist ein deutlicher Rückgang des Körpergewichts und eine Verschlechterung des Ernährungszustandes von der ad libitum Fütterung bis zur letzten Reduktionsstufe erkennbar. Zu Beginn des zweiten Versuchsabschnittes hatten die Tiere die Verluste aus dem ersten Durchgang nahezu ausgeglichen.

Tab. 10 : Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score

Versuch	KM (kg)	KM ^{0,75} (kg)	BCS
Heu F ad lib.	288 ± 65,4 a	69,6 ± 11,7	7 ± 1,1
Heu F 76g TS	284 ± 66,2 b	69,0 ± 11,9	7 ± 1,1
Heu F 53g TS	279 ± 62,1 b	68,1 ± 11,2	6 ± 1,1
Heu F 30g TS	268 ± 59,4 c	66,0 ± 10,9	6 ± 1,2
Heu G ad lib.	284 ± 64,0 a	68,9 ± 11,5	7 ± 1,1
Heu G 76g TS	283 ± 63,5 a	68,7 ± 11,4	6 ± 1,1
Heu G 53g TS	273 ± 59,4 b	67,0 ± 10,8	6 ± 1,0
Heu G 30g TS	264 ± 57,5 c	65,2 ± 10,6	5 ± 1,1

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

Betrachtet man die Gewichtsentwicklung der Tiere im Verlauf der beiden achtwöchigen Versuchsabschnitte, wie sie in Abbildung 10 beispielhaft für das Pferd „Bukra“ dargestellt ist, so ist zu erkennen, dass die Tiere mit dem Heu durchschnittlicher Qualität bei ad libitum Fütterung und zum Teil auch noch bei der ersten Reduktionsstufe während der Bilanzphase zugenommen haben. Der deutliche Gewichtsrückgang erfolgte in der Woche, in der die Pferde auf die neue Ration umgestellt wurden. Ähnliche Beobachtungen konnten auch beim überständigen Heu gemacht werden. Auffällig ist hier jedoch, dass zwei Pferde sogar während der ad libitum Fütterung abgenommen haben und der deutlichste Gewichtsverlust bei allen Tieren erst bei der Umstellung von der zweiten auf die dritte Reduktionsstufe eintrat.

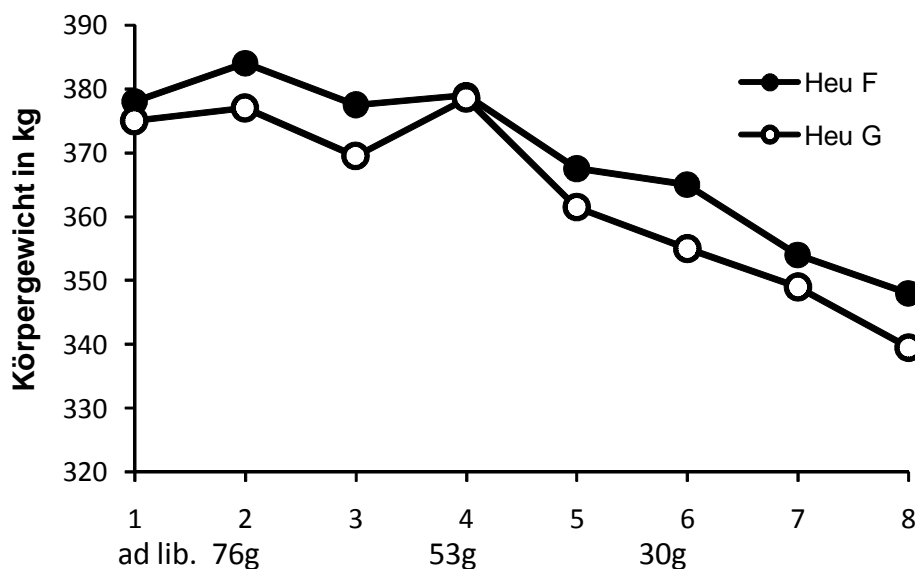


Abb. 10: Gewichtsentwicklung „Bukra“, Angaben unter der x-Achse kennzeichnen den Zeitpunkt an dem auf die jeweilige Futtermenge umgestellt wurde

3.3.3 Futteraufnahme

Bei der Futteraufnahme konnten deutliche Unterschiede zwischen dem Heu mittlerer Qualität und dem überständigen Heu beobachtet werden. In der Phase der ad libitum Fütterung zeigten alle Tiere bei dem überständigen Heu eine sehr selektive Futteraufnahme. Die zurückgewogenen Anteile dieses Heus waren von grobstengeliger, nahezu strohartiger Beschaffenheit und unterschieden sich im Aussehen deutlich von der eingewogenen Ration. Bei dem qualitativ guten Heu waren keine grobsinnlichen Unterschiede zwischen Einwaage und Rückwaage

festzustellen. Obwohl bei der ad libitum Fütterung von dem überständigen Heu pro Tag eine deutlich größere Ration vorgelegt wurde, blieb die Futteraufnahme deutlich hinter der von dem Heu durchschnittlicher Qualität aufgenommenen Menge zurück, wie aus Tabelle 11 ersichtlich ist. Bei einem Tier lag die Futteraufnahme sogar unter der Menge der für die erste Phase der rationierten Fütterung ($76\text{g TS/kg}^{0,75}$) errechneten Menge. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in Tabelle I-IV.

Tab. 11: Mittlere Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und $\text{g TS/kg}^{0,75}/\text{Tag}$

Versuch	KM kg	$\text{KM}^{0,75}$ kg	g Heu/Tag	FA g TS/Tag	$\text{g TS/kg}^{0,75}/\text{Tag}$
Heu F ad lib.	$288 \pm 65,4$	$70 \pm 11,7$	$7426 \pm 1493,4$	$6513 \pm 1309,7$	$93 \pm 7,9$
Heu F 76g TS	$284 \pm 66,2$	$69 \pm 11,9$	$6050 \pm 1021,4$	$5306 \pm 895,8$	$77 \pm 0,4$
Heu F 53g TS	$279 \pm 62,1$	$68 \pm 11,2$	$4175 \pm 722,8$	$3661 \pm 633,9$	$54 \pm 0,6$
Heu F 30g TS	$268 \pm 59,4$	$66 \pm 10,9$	$2300 \pm 424,3$	$2017 \pm 372,1$	$31 \pm 0,6$
Heu G ad lib.	$284 \pm 64,0$	$69 \pm 11,5$	$6448 \pm 1552,7$	$5680 \pm 1367,9$	$82 \pm 7,2$
Heu G 76g TS	$283 \pm 63,5$	$69 \pm 11,4$	$5975 \pm 991,2$	$5264 \pm 873,3$	$77 \pm 0,5$
Heu G 53g TS	$273 \pm 59,4$	$67 \pm 10,8$	$4150 \pm 732,6$	$3656 \pm 645,4$	$55 \pm 0,8$
Heu G 30g TS	$264 \pm 57,5$	$65 \pm 10,6$	$2275 \pm 377,5$	$2004 \pm 332,6$	$31 \pm 0,2$

Tab. 12: Futteraufnahme in g Heu/Tag bei ad libitum Fütterung und errechneter Ration von 76g TS/kg^{0,75}

	Heu F ad lib. g Heu/ Tag	Heu F 76g TS/kg ^{0,75} g Heu/Tag	Heu G ad lib. g Heu/Tag	Heu G 76g TS/kg ^{0,75} g Heu/ Tag	Differenz Heu F-Heu G ad lib. g Heu/Tag
Bukra	9658	7500	8758	7400	900
Sissi	6509	5800	5940	5700	569
Gharib	6809	5100	5623	5100	1187
Tarabas	6727	5800	5470	5700	1257
Mittelwert± Standardabw.	7426 ±1493	6050 ±1021	6448 ±1553	5975 ±991	978 ±313

Sobald das Heu jedoch in rationierter Form gefüttert wurde, wurde auch das überständige Heu restlos aufgenommen. Allerdings benötigten die Tiere beim überständigen Heu in jeder Phase der rationierten Fütterung ½ -1 Stunde länger für die Aufnahme der Ration.

In Tabelle 13, 14 und 15 sind die absolut aufgenommenen Nährstoffmengen bei ad libitum Fütterung dargestellt. Es zeigt sich das die Tiere bei Heu G deutlich geringere Nährstoffmengen aufgenommen haben, als bei Heu F. Es ist klar erkennbar, dass die Ponies selektiv die faserärmeren Anteile von Heu G aufgenommen haben.

Tab. 13: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnährstoffen und Bruttoenergie bei ad libitum Fütterung

	TS g	oS g	Ra g	Rp g	Rfe g	Rfa g	GE MJ
Heu F	6514 ± 1310	6083 ± 1223	431 ± 87	686 ± 138	72 ± 15	2072 ± 417	124 ± 25
Heu G	5486 ± 1419	5249 ± 1356	236 ± 63	341 ± 81	76 ± 16	1859 ± 510	107 ± 27

Tab. 14: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von stickstofffreien Extraktstoffen, Gerüstsubstanzen und säureunlöslicher Asche bei ad libitum Fütterung

	Nfe g	NDF g	ADF g	ADL g	HC g	C g	AIA g
Heu F	3253 ± 654	4402 ± 885	2345 ± 472	703 ± 141	2057 ± 414	1642 ± 330	111 ± 22
Heu G	2973 ± 749	3665 ± 999	1986 ± 559	634 ± 173	1679 ± 440	1352 ± 386	76 ± 17

Tab. 15: Vergleich der pro Tag absolut aufgenommenen Mengen von Mineralstoffen und Spurenelementen bei ad libitum Fütterung

	Ca g	Cu mg	K g	Mg g	Na g	P g	Zn mg
Heu F	36 ± 7	291 ± 59	26 ± 5	135 ± 27	7 ± 1	25 ± 5	1477 ± 297
Heu G	26 ± 7	278 ± 68	15 ± 4	102 ± 26	4 ± 1	20 ± 5	1075 ± 282

3.3.4 Verhalten

Im Verhalten der Versuchstiere waren deutliche Unterschiede zwischen den beiden Versuchsdurchgängen, aber auch zwischen den einzelnen Individuen feststellbar. Das Heu durchschnittlicher Qualität wurde von allen Tieren zügig, von „Bukra“ sogar gierig, und ohne Unterbrechungen aufgenommen. Deswegen wurde für „Bukra“ das Heu ab der vorletzten Reduktionsstufe ($53\text{g TS/kg}^{0,75}$) in mehreren kleinen Portionen flächig ausgestreut, um die Futteraufnahme- und damit auch die Beschäftigungszeit zu verlängern. Schon in der ersten Phase der rationierten Fütterung ($76\text{g TS/kg}^{0,75}$) begannen die Tiere damit, alle erreichbaren Holzteile zu benagen und die zur Abdeckung der Paddockfläche verwendeten Gewebeplanen zu zerreißen. In der zweiten Reduktionsphase steigerten sich diese Aktivitäten deutlich. Da bei zwei Pferden (Gharib und Bukra) auch einzelne Fasern der Gewebeplanen im Kot zu finden waren, wurden die Planen nach diesem Versuchsabschnitt durch Gummimatten ersetzt. Außerdem musste bei allen Tieren die Absperrung zu den Ställen mit dem stromführenden Paddockzaun verbunden werden, da in dieser Versuchsphase alle erreichbaren beweglichen Gegenstände angenagt, zerrissen oder in anderer Form als Beschäftigungsmöglichkeit genutzt wurden.

Beim überständigen Heu benötigten die Tiere deutlich länger für die Aufnahme der vorgelegten Ration, was vor allem auf die selektive Futteraufnahme zurückzuführen war. Alle Tiere wählten zuerst die feineren Bestandteile aus und ließen die gröberen, härteren Halme bis zum Schluss übrig. „Sissi“ und „Tarabas“ unterbrachen bei der ersten ($76\text{g TS/kg}^{0,75}$), Sissi sogar noch während der zweiten Reduktionsstufe ($53\text{g TS/kg}^{0,75}$) die Futteraufnahme, um zu dösen. Insgesamt zeigten sich alle Tiere ruhiger und ausgeglichener. Das Benagen von Holz begann erst während der zweiten Reduktionsstufe und nahm im letzten Versuchsabschnitt noch etwas zu, wurde aber nie so stark, wie im ersten Versuchsdurchgang.

3.3.5 Mittlere Retentionszeit

Bei Vergleich der nach der Formel von THIELEMANS et al. (1978) errechneten mittleren Retentionszeit konnte festgestellt werden, dass eine Reduktion der Futtermenge eine Erhöhung der für die Ingesta-Passage benötigten Zeit zur Folge hatte. Außerdem war die mittlere Retentionszeit bei der Verfütterung von

überständigem Heu deutlich höher als bei qualitativ gutem Heu. Einzige Ausnahme bildete die Ration mit 56g TS/kg^{0,75}, bei der die MRT im ersten und im zweiten Versuchsdurchgang nahezu identisch war. In Tabelle 16 sind die Mittelwerte mit Standardabweichung für jeden Versuch dargestellt. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in Tabelle IX-XII.

Tab. 16: Mittlere Retentionszeit für Chrom- und Kobaltmarker

Versuch	MRT Cr	MRT Co	SF
Heu F ad lib.	23 ± 4,0 a	21 ± 4,0 ab	1,4 ± 0,5
Heu F 76g TS	25 ± 1,5 a	22 ± 2,2 a	1,2 ± 0,1
Heu F 53g TS	33 ± 5,4 b	28 ± 4,1 bc	1,2 ± 0,2
Heu F 30g TS	38 ± 5,0 b	31 ± 2,0 c	1,2 ± 0,1
Heu G ad lib.	31 ± 4,2 a	23 ± 3,3 a	1,4 ± 0,1
Heu G 76g TS	31 ± 4,6 a	20 ± 1,5 a	1,5 ± 0,3
Heu G 53g TS	34 ± 5,8 a	29 ± 3,9 b	1,2 ± 0,2
Heu G 30g TS	48 ± 3,9 b	37 ± 3,8 b	1,3 ± 0,1

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

In Abb. 11 und 12 sind als Beispiel die Ausscheidungskurven von „Bukra“ für die letzte Reduktionstufe (30g TS/kg^{0,75}) aus dem ersten und zweiten Versuchsdurchgang dargestellt.

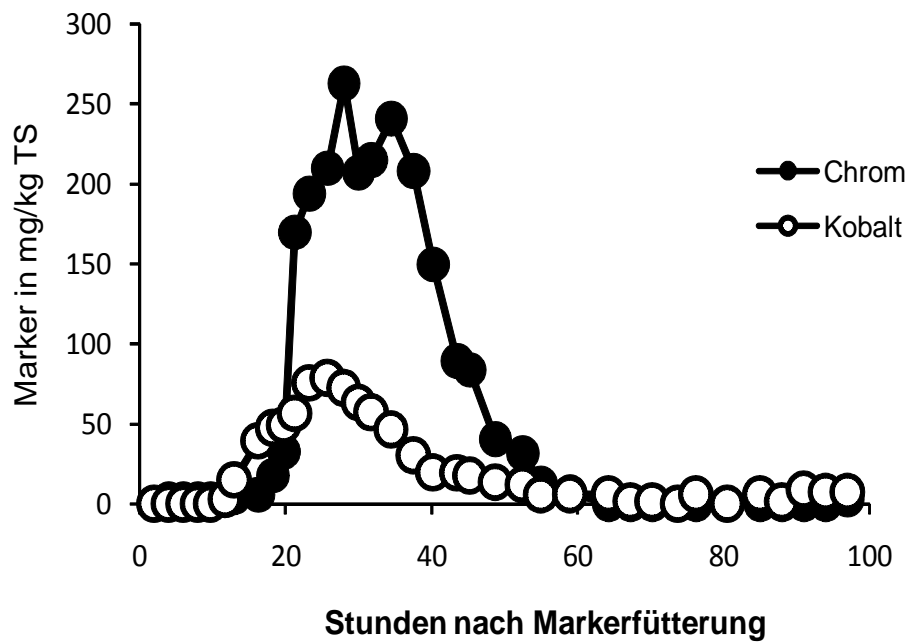


Abb. 11: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für „Bukra“ Heu F, 30g TS/kg^{0,75}

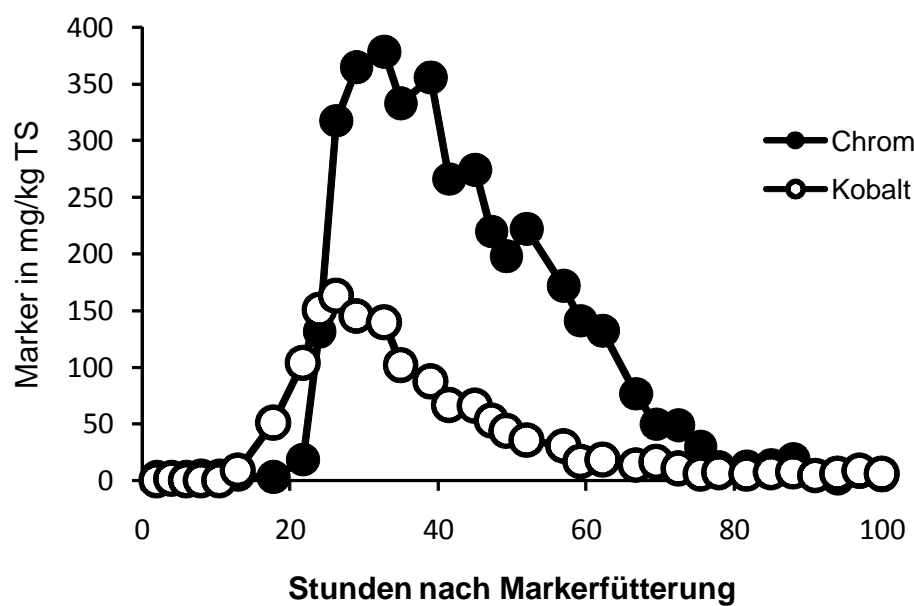


Abb. 12: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für „Bukra“ Heu G, 30g TS/kg^{0,75}

Betrachtet man Beginn und Ende der Markerausscheidung, so ist zu erkennen, dass bei geringerer Futteraufnahme die Ausscheidung später einsetzt und länger andauert. Bei der gleichen Futtermenge und unterschiedlicher Futterqualität sind keine signifikanten Unterschiede feststellbar. In Tabelle 17 sind die Mittelwerte mit Standardabweichung für Beginn und Ende der Ausscheidung in Stunden nach dem Zeitpunkt der Markerfütterung dargestellt. Die Werte der Einzeltiere sind im Anhang in Tabelle XIII-XVI zu finden.

Tab. 17: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung

	Chrom		Kobalt	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende
Heu F ad lib.	11,2 ± 0,9	46,3 ± 8,1	10,7 ± 2,8	41,5 ± 8,4
Heu F 76g TS	11,9 ± 1,5	49,8 ± 2,6	10,9 ± 1,1	47,5 ± 7,7
Heu F 53g TS	15,6 ± 2,8	73,2 ± 16,6	14,2 ± 2,9	61,4 ± 11,1
Heu F 30g TS	17,6 ± 3,1	84,1 ± 22,4	12,0 ± 2,2	77,7 ± 8,9
Heu G ad lib.	10,9 ± 1,1	64,0 ± 18,2	9,3 ± 2,0	51,9 ± 11,1
Heu G 76g TS	12,1 ± 3,1	62,8 ± 22,4	9,9 ± 2,2	45,1 ± 8,9
Heu G 53g TS	12,1 ± 1,4	66,7 ± 15,6	12,9 ± 2,6	61,3 ± 9,1
Heu G 30g TS	20,8 ± 1,7	118,5 ± 18,9	13,8 ± 1,2	98,6 ± 16,9

3.3.6 Kotmenge

In Tabelle 18 sind die durchschnittlich pro Tag abgesetzten Kotmengen sowie der TS-Gehalt des Kotes als Mittelwert mit Standardabweichung dargestellt. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in Tabelle XVII-XX. Auffällig ist, dass der TS-Gehalt des Kotes bei Verfütterung des überständigen Heus deutlich höher ist, als bei dem Heu mittlerer Qualität. Innerhalb eines Versuchsdurchganges nimmt der TS-Gehalt ab der zweiten Reduktionsstufe (53g TS/kg^{0,75}) zu. Die pro Tag abgesetzte Menge Kot und Kot-Trockensubstanz verringert sich mit Reduzierung der Futtermenge. Bei gleicher Futtermenge wird bei den beiden ersten Reduktionsstufen

(76g TS/kg^{0,75} und 53g TS/kg^{0,75}) im zweiten Versuchsdurchgang deutlich mehr Kot-TS pro Tag abgesetzt als im ersten, während die Werte bei der letzten Reduktionsstufe (30g TS/kg^{0,75}) nahezu identisch sind.

Tab. 18: Durchschnittlich pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes

	Kot g uS/Tag	TS %		Kot g TS/Tag
Heu F ad lib.	19103 ±5389	18 ±1	n.s.	3406 ±654
Heu F 76g TS	15311 ±3846	18 ±1	n.s.	2653 ±505
Heu F 53g TS	9760 ±3223	20 ±2	n.s.	1867 ±364
Heu F 30g TS	6882 ±2734	20 ±3	n.s.	1340 ±309
Heu G ad lib.	14752 ±4222	22 ±2	a	3166 ±750
Heu G 76g TS	14087 ±3954	22 ±2	a	3026 ±670
Heu G 53g TS	10272 ±2992	23 ±2	b	2340 ±546
Heu G 30g TS	5792 ±1864	24 ±3	ab	1340 ±241

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

a, b: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

3.3.7 Verdaulichkeit

In den Tabelle 19, 20 und 21 sind die scheinbaren Verdaulichkeiten der in Futter und Kot untersuchten Parameter als Mittelwerte mit Standardabweichung dargestellt. Im zweiten Versuchsdurchgang (Heu G) wurden die Ergebnisse des Pferdes "Sissi" bei einer Futtermenge von 76g TS/kg^{0,75} nicht in den Mittelwert einbezogen, da die für die scheinbare Verdaulichkeit errechneten Werte extrem hoch waren. Da außerdem in diesem Versuch bei "Sissi", wie aus Abbildung 13 ersichtlich ist, ein deutlicher zweiter Peak in der Markerausscheidungskurve auftritt, ist davon auszugehen, dass die Werte durch Kotaufnahme verfälscht sind. Im Anhang sind in den Tabellen XXI-XXXII die Ergebnisse für alle Einzeltiere aufgeführt.

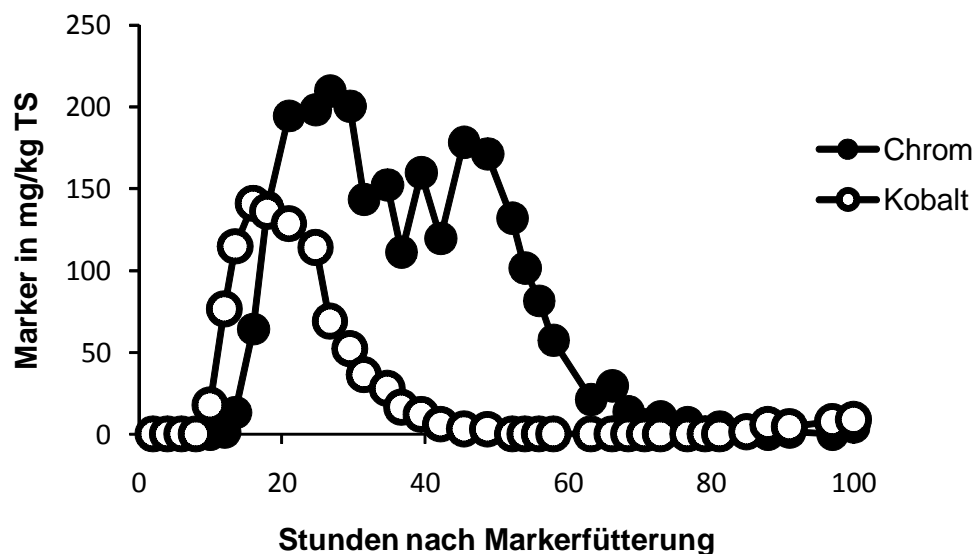


Abb. 13: Chrom- und Kobaltausscheidungskurve für "Sissi"

Bis auf einige Ausnahmen sind die Werte für die scheinbare Verdaulichkeit bei Heu F höher als beim überständigen Heu. Nur bei der letzten Reduktionsstufe liegen die Werte für beide Heuarten relativ dicht beieinander. Bei den einzelnen Reduktionsstufen eines Versuchsdurchlaufes bleiben die scheinbaren Verdaulichkeiten während der ad libitum Fütterung und der ersten und, zum Teil auch noch während der zweiten Reduktionsstufe nahezu gleich, bzw. steigen bei der rationierten Fütterung sogar noch an. Bei der kleinsten Futtermenge war jedoch durchweg auch die geringste scheinbare Verdaulichkeit erkennbar.

Tab. 19: Scheinbare Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und der Bruttoenergie

	TS %	oS %	Rp %	Rfe %	Rfa %	Nfe %	GE %
Heu F ad lib.	48 ±2,4 a	47 ±2,5 a	62 ±2,2 a	20 ±6,5 a	35 ±2,8 a	52 ±2,7 a	44 ±2,7 a
Heu F 76g TS	50 ±2,9 a	50 ±2,8 a	61 ±3,8 ab	6 ±7,7 abc	41 ±2,6 a	55 ±2,7 a	47 ±2,5 a
Heu F 53g TS	49 ±1,7 a	50 ±1,6 a	62 ±2,4 a	3 ±4,1 b	40 ±2,7 a	54 ±1,2 a	46 ±1,9 a
Heu F 30g TS	34 ±4,6 b	35 ±4,9 b	58 ±1,7 b	-16 ±7,0 c	11 ±12,3 b	46 ±1,4 b	31 ±3,9 b
Heu G ad lib.	43 ±3,5 ab	43 ±3,6 ab	43 ±2,9 a	10 ±6,0 ab	34 ±5,0 ab	50 ±3,3 a	41 ±3,8 ab
Heu G 76g TS	43 ±5,0 a	43 ±4,9 a	40 ±5,3 bc	9 ±13,3 a	37 ±4,5 a	48 ±5,2 ab	40 ±5,4 a
Heu G 53g TS	38 ±0,7 a	39 ±0,7 a	36 ±4,1 ac	-2 ±6,0 a	32 ±2,6 a	44 ±0,8 b	35 ±0,6 a
Heu G 30g TS	33 ±1,1 b	35 ±1,1 b	30 ±3,7 b	13 ±3,3 b	24 ±4,1 b	43 ±1,5 ab	32 ±1,2 b

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

Tab. 20: Scheinbare Verdaulichkeit der Rohasche und der Gerüstsubstanzen

	Ra %	NDF %	ADF %	ADL %	HC %	C %	AIA %
Heu F ad lib.	54 ±2,3 a	42 ±2,5 a	37 ±2,6 a	52 ±18,5 a	49 ±2,5 ab	30 ±8,2 a	37 ±6,4 a
Heu F 76g TS	49 ±5,5 a	47 ±2,7 a	41 ±2,8 a	58 ±11,8 a	53 ±2,7 ab	34 ±6,0 ab	22 ±13,1 b
Heu F 53g TS	40 ±5,4 b	47 ±2,5 a	41 ±2,7 a	47 ±22,4 a	54 ±2,5 a	38 ±8,0 a	2 ±10,9 bc
Heu F 30g TS	22 ±6,0 c	30 ±6,8 b	14 ±10,5 b	6 ±31,1 b	48 ±3,1 b	17 ±9,8 b	-11 ±21,1 c
Heu G ad lib.	32 ±4,1 abc	37 ±4,3 ab	32 ±5,2 ab	49 ±18,4 a	44 ±3,8 n.s.	23 ±13,6 ab	10 ±8,3 a
Heu G 76g TS	32 ±7,3 a	38 ±5,9 a	34 ±5,9 a	48 ±16,4 a	43 ±5,9 n.s.	29 ±5,9 a	-3 ±12,4 b
Heu G 53g TS	23 ±3,6 b	33 ±2,6 a	29 ±2,9 a	42 ±17,2 ab	39 ±2,4 n.s.	22 ±4,3 a	-29 ±3,1 c
Heu G 30g TS	-1 ±8,5 c	28 ±2,8 b	20 ±3,1 b	33 ±17,7 b	39 ±3,4 n.s.	13 ±5,5 b	-55 ±12,3 c

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

Tab. 21: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe (Ca, P, K, Mg, Na) und Spurenelemente (Cu, Zn)

	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %
Heu F ad lib.	69 ±3,1 a	19 ±6,7 ab	64 ±4,4 a	46 ±5,7 a	56 ±5,2 n.s.	10 ±7,6 a	19 ±5,9 a
Heu F 76g TS	62 ±2,9 b	24 ±11,5 a	68 ±6,1 ab	42 ±3,3 a	51 ±5,6 n.s.	8 ±5,3 a	9 ±8,4 b
Heu F 53g TS	41 ±6,2 c	20 ±11,7 b	70 ±5,2 b	31 ±4,6 b	39 ±16,2 n.s.	-11 ±4,4 b	-14 ±4,9 c
Heu F 30g TS	8 ±6,1 d	-6 ±3,8 c	63 ±6,6 a	21 ±5,3 c	11 ±34,0 n.s.	-25 ±2,1 c	-72 ±24,7 d
Heu G ad lib.	54 ±9,7 ab	22 ±7,3 a	57 ±4,5 a	33 ±6,4 n.s.	42 ±7,5 a	10 ±4,2 ab	2 ±3,9 ab
Heu G 76g TS	54 ±4,1 a	14 ±9,0 ab	53 ±6,9 b	32 ±10,7 n.s.	43 ±7,4 a	15 ±7,8 a	-5 ±24,2 a
Heu G 53g TS	34 ±6,2 a	4 ±6,4 b	55 ±3,7 ab	26 ±9,9 n.s.	25 ±8,6 b	6 ±4,5 b	-22 ±17,4 b
Heu G 30g TS	-10 ±17,0 b	-9 ±8,3 ab	62 ±5,0 ab	12 ±12,9 n.s.	-31 ±31,0 c	-4 ±3,1 ab	-63 ±28,8 ab

a, b, c, d: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

Ermittelt man anhand der scheinbaren Verdaulichkeit der Gesamtenergie den Gehalt der verdaulichen Energie in der Ration, so ergibt sich ein deutlicher Unterschied zu den Werten des nach der Formel von ZEYNER und KIENZLE (2002) errechneten DE-Gehaltes. Da der errechneter Wert auf dem Nährstoffgehalt des Futters basiert, ist er von der Futtermenge unabhängig. Der experimentell ermittelte DE-Gehalt hingegen geht mit Abnahme der Futtermenge zurück, wobei dieser Rückgang beim überständigen Heu deutlicher ausfällt als beim Heu durchschnittlicher Qualität. Als Folge des höheren errechneten DE-Gehaltes in der Ration liegt auch die errechnete DE-Aufnahme über der, die aus den Versuchsergebnissen bestimmt wurde.

Tab. 22: Vergleich experimentell ermittelter und errechneter Werte (nach ZEYNER und KIENZLE, 2002) für den DE-Gehalt in der Ration und die DE-Aufnahme in MJ/Tag, MJ/kg KM und MJ/kg^{0,75}

	DE-Gehalt in der Ration		DE-Aufnahme					
	MJ/kg TS experimentell	MJ/kg TS errechnet	MJ/Tag experimentell	MJ/Tag errechnet	MJ/kg KM experimentell	MJ/kg KM errechnet	MJ/kg ^{0,75} experimentell	MJ/kg ^{0,75} errechnet
Heu F ad lib.	8,4 ±0,5	9,0 ±0,0	55,0 ±12,4	58,7 ±11,8	0,2 ±0,0	0,2 ±0,0	0,8 ±0,1	0,8 ±0,1
Heu F 76g TS	8,9 ±0,5	9,0 ±0,0	47,3 ±7,7	47,8 ±8,1	0,2 ±0,0	0,2 ±0,0	0,7 ±0,0	0,7 ±0,0
Heu F 53g TS	8,7 ±0,4	9,0 ±0,0	31,9 ±5,1	33,0 ±5,7	0,1 ±0,0	0,1 ±0,0	0,5 ±0,0	0,5 ±0,0
Heu F 30g TS	5,9 ±0,7	9,0 ±0,0	11,8 ±1,7	18,2 ±3,4	0,0 ±0,0	0,1 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0
Heu G ad lib.	8,0 ±0,7	9,1 ±0,1	44,4 ±11,8	50,3 ±11,7	0,2 ±0,0	0,2 ±0,0	0,6 ±0,1	0,7 ±0,1
Heu G 76g TS	7,3 ±0,3	8,7 ±0,0	38,6 ±6,1	46,6 ±9,2	0,1 ±0,0	0,2 ±0,0	0,6 ±0,0	0,7 ±0,0
Heu G 53g TS	6,7 ±0,1	8,7 ±0,0	25,4 ±5,6	32,8 ±7,5	0,1 ±0,0	0,1 ±0,0	0,4 ±0,0	0,5 ±0,0
Heu G 30g TS	6,1 ±0,2	8,7 ±0,0	12,2 ±1,8	17,5 ±2,9	0,0 ±0,0	0,1 ±0,0	0,2 ±0,0	0,3 ±0,0

3.3.8 Kot-Partikelgrösse

Bei der Untersuchung der Kot-Partikelgröße konnte festgestellt werden, dass alle Tiere das überständige, deutlich gröbere Heu besser zerkaut haben, als das gute Heu.

Ein Einfluss der Futtermenge auf die Kot-Partikelgröße ist nicht zu erkennen.

In Tabelle 23 sind die Ergebnisse der Berechnung des "Modulus of Fineness" nach POPPI et. al. (1980) für die Einzeltiere sowie der Mittelwert mit Standardabweichung dargestellt.

Tab. 23: Modulus of Fineness

Versuch	Bukra	Sissi	Gharib	Tarabas	Mittelwert± Standardabw.
Heu F ad lib.	4,1	3,5	3,8	3,8	3,8 ±0,2 n.s.
Heu F 76g TS	4,5	3,6	3,8	3,6	3,9 ±0,4 n.s.
Heu F 53g TS	4,7	3,5	4,0	3,8	4,0 ±0,5 n.s.
Heu F 30g TS	4,5	3,5	4,2	3,6	4,0 ±0,5 n.s.
Mittelwert± Standardabw.	4,5 ±0,2	3,5 ±0,0	4,0 ±0,2	3,7 ±0,1	
Heu G ad lib.	3,7	3,5	3,0	2,9	3,3 ±0,4 n.s.
Heu G 76g TS	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2 ±0,0 n.s.
Heu G 53g TS	3,6	3,1	3,6	3,0	3,3 ±0,3 n.s.
Heu G 30g TS	3,7	3,3	3,4	3,0	3,4 ±0,3 n.s.
Mittelwert± Standardabw.	3,6 ±0,2	3,2 ±0,2	3,3 ±0,2	3,0 ±0,1	

3.3.9 Wasseraufnahme

Die tägliche Wasseraufnahme der Versuchstiere ging parallel zur Reduktion der Futtermenge zurück. Nur bei „Bukra“ lag die aufgenommene Wassermenge im letzten Abschnitt des zweiten Versuchsdurchganges deutlich über den Werten der vorangegangenen Versuchsphasen. Die aufgenommene Wassermenge je kg

Futtertrockensubstanz blieb hingegen in den ersten drei Versuchsabschnitten annähernd konstant und stieg erst bei der letzten Reduktionsstufe bei allen Tieren leicht an. Bei Verfütterung des überständigen Heus nahmen die Tiere durchweg weniger Wasser auf als bei dem Heu durchschnittlicher Qualität. Nur bei Fütterung von 30g TS/kg^{0,75} war bei Bukra, Sissi und Gharib die Wasseraufnahme im zweiten Versuchsdurchgang höher als im ersten. In Tab. 24 sind die täglich aufgenommenen Wassermengen aller Versuchstiere in l/Tag und in kg Wasser/kg Futter-TS sowie der Mittelwert mit Standardabweichung angegeben.

Tab. 24: Durchschnittlich Wasseraufnahme in l/Tag und kg Wasser/kg
aufgenommene TS

Versuch	Bukra		Sissi		Gharib		Tarabas		Mittelwert±Standardabweichung			
	l/Tag	kg/kg TS	l/Tag	kg/kg TS	l/Tag	kg/kg TS	l/Tag	kg/kg TS	l/Tag		kg/kgTS	
Heu F ad lib.	35,4	4,2	20,8	3,6	21,7	3,6	21,2	3,6	24,8 ±7,1 a		3,8 ±0,3 ab	
Heu F 76g TS	33,2	5,0	15,5	3,0	14,8	3,3	17,8	3,5	20,3 ±8,7 b		3,7 ±0,9 a	
Heu F 53g TS	21,9	4,8	9,6	2,7	10,9	3,6	12,4	3,5	13,7 ±5,6 c		3,7 ±0,9 ab	
Heu F 30g TS	19,8	7,8	8,1	4,2	7,1	4,3	10,7	5,5	11,4 ±5,8 d		5,4 ±1,7 b	
Heu G ad lib.	21,8	2,9	12,4	2,4	13,0	2,7	13,8	2,9	15,3 ±4,4 a		2,7 ±0,2 n.s.	
Heu G 76g TS	23,8	3,7	11,6	2,3	13,1	2,9	14,5	2,9	15,8 ±5,5 a		2,9 ±0,5 n.s.	
Heu G 53g TS	18,1	3,6	6,8	2,0	9,5	3,1	9,9	2,8	11,1 ±4,9 b		2,9 ±0,7 n.s.	
Heu G 30g TS	28,1	11,4	9,1	4,7	8,6	5,1	9,3	4,8	13,8 ±9,6 ab		6,5 ±3,3 n.s.	

a, b, c, d: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

3.3.10 Urin

Im ersten Versuchsdurchgang lässt sich im Bezug auf die pro Tag abgesetzte Urinmenge keine Regelmäßigkeit feststellen. Bei „Sissi“ und „Gharib“ ist eine deutliche Abnahme der Urinmenge mit dem Rückgang der Futtermenge zu verzeichnen. Bei „Tarabas“ schwanken die Werte in einem relativ engen Bereich. Die

Veränderungen bei „Bukra“ verlaufen ähnlich, allerdings mit wesentlich größeren Differenzen zwischen den einzelnen Werten. Im Gegensatz dazu stieg bei allen Tieren die pro Tag abgesetzte Urinmenge, je mehr die Futtermenge reduziert wurde. In Tabelle 25 sind die gemessenen Urinmengen in l/Tag und in ml/kg KM/Tag dargestellt. Zusätzlich wurde die Urinmenge noch nach der Formel von MEYER und STADERMANN (1990) berechnet.

Vergleicht man die über Futter und Tränke aufgenommene mit der über Kot und Urin ausgeschiedenen Wassermenge im Sinne einer „Wasserbilanz“, so zeigt sich, dass kein Zusammenhang mit der Futtermenge oder der Futterqualität besteht. Die Mittelwerte mit Standardabweichung finden sich in Tabelle 26, die Werte der Einzeltiere im Anhang in Tabelle XXXIII-XXXVI.

Tab. 25: Durchschnittliche Urinmengen in l/Tag und in ml/kg KM/Tag; Vergleich der eigenen Messung mit der nach MEYER und STADERMANN (1990) errechneten Menge

	Bukra		Sissi		Gharib		Tarabas		Mittelwert± Standardabw.			
	errechnet	gemessen	errechnet	gemessen	errechnet	gemessen	errechnet	gemessen	errechnet	n.s.	gemessen	
Heu F ad lib.	10,6	6,2	8,1	5,4	6,9	4,6	10,0	5,0	8,9 ±1,7	n.s.	5,3 ±0,7	ab
Heu F 76g TS	19,6	13,3	6,7	4,2	6,5	4,4	12,6	7,1	11,3 ±6,2	n.s.	7,2 ±4,2	a
Heu F 53g TS	19,1	9,9	6,1	3,6	5,7	3,6	9,6	4,6	10,1 ±6,2	n.s.	5,4 ±3,0	ab
Heu F 30g TS	19,8	11,1	4,7	3,0	4,8	2,8	10,6	6,1	10,0 ±7,1	n.s.	5,8 ±3,9	b
Heu G ad lib.	6,5	3,2	3,8	1,5	3,8	2,3	4,5	2,5	4,6 ±1,3	n.s.	2,4 ±0,7	n.s.
Heu G 76g TS	16,0	9,5	4,0	1,7	3,3	1,7	4,3	2,3	6,9 ±6,1	n.s.	3,8 ±3,8	n.s.
Heu G 53g TS	27,9	14,5	3,6	1,8	5,6	3,8	5,0	2,6	10,5 ±11,6	n.s.	5,7 ±6,0	n.s.
Heu G 30g TS	46,0	21,8	3,6	1,8	6,6	4,0	7,9	4,2	16,0 ±20,1	n.s.	7,9 ±9,3	n.s.

a, b: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

Tab. 26: Wasserbilanz in ml/kg KM/Tag

	KM kg	Aufnahme (ml/kg KM/Tag)			Ausscheidung (ml/kg KM/Tag)			insensible Verluste	
		Futter	Tränke	gesamt	Kot	Urin	gesamt	absolut	%
Heu F ad lib.	288	3 ±0	92 ±9	95 ±10	54 ±5	18 ±1	72 ±4	22 ±8	23 ±7 a
Heu F 76g TS	284	3 ±0	70 ±13	72 ±13	45 ±6	24 ±9	68 ±12	4 ±6	5 ±8 b
Heu F 53g TS	279	2 ±0	48 ±9	49 ±9	28 ±4	18 ±4	46 ±8	3 ±4	7 ±7 b
Heu F 30g TS	268	1 ±0	41 ±11	42 ±11	20 ±4	19 ±9	39 ±13	3 ±2	9 ±6 ab
Heu G ad lib.	284	3 ±0	55 ±6	58 ±6	41 ±3	9 ±2	51 ±5	7 ±6	12 ±9 n.s.
Heu G 76g TS	283	3 ±0	56 ±10	59 ±10	39 ±6	12 ±9	51 ±12	8 ±4	14 ±7 n.s.
Heu G 53g TS	273	2 ±0	46 ±11	48 ±11	28 ±2	17 ±15	45 ±16	3 ±7	7 ±13 n.s.
Heu G 30g TS	264	1 ±0	49 ±21	50 ±21	16 ±3	26 ±23	42 ±25	8 ±6	20 ±16 n.s.

a, b: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

In Tabelle 27 sind die Ergebnisse der Urinuntersuchung als Mittelwert mit Standardabweichung in g/kg ursprüngliche Substanz sowie der Kalzium-Kreatinin-Quotient zusammengefasst. Bis auf einige Ausnahmen war der Mineralstoff- und Kreatiningehalt bei Fütterung des überständigen Heus deutlich geringer als im ersten Versuchsdurchlauf. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in Tabelle XXXVII-XXXX.

*Tab. 27: Natrium-, Kalium-, Kalzium, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins;
Kalzium-Kreatinin-Quotient*

	Na g/kg	K g/kg	Ca g/kg	P g/kg	Kreatinin g/kg	Ca/Kreatinin- Quotient
Heu F ad lib.	0,1 ±0,1 n.s.	12,7 ±1,5 a	6,0 ±1,1 a	0,03 ±0,01 n.s.	1,3 ±0,2 n.s.	4,6 ±0,6
Heu F 76g TS	0,2 ±0,2 n.s.	14,7 ±4,0 a	9,6 ±1,2 b	0,05 ±0,01 n.s.	3,2 ±0,5 n.s.	3,0 ±0,5
Heu F 53g TS	0,1 ±0,0 n.s.	8,6 ±3,1 a	3,5 ±1,3 b	0,02 ±0,01 n.s.	1,2 ±0,5 n.s.	3,0 ±0,5
Heu F 30g TS	0,1 ±0,0 n.s.	13,1 ±6,5 b	8,1 ±4,4 ab	0,05 ±0,03 n.s.	2,8 ±1,3 n.s.	2,8 ±0,7
Heu G ad lib.	0,2 ±0,2 n.s.	7,6 ±3,2 a	3,0 ±0,9 n.s.	0,02 ±0,01 a	1,3 ±0,5 n.s.	2,3 ±0,3
Heu G 76g TS	0,1 ±0,0 n.s.	9,2 ±5,0 a	4,0 ±2,2 n.s.	0,03 ±0,02 ab	2,1 ±1,4 n.s.	2,1 ±0,6
Heu G 53g TS	0,1 ±0,1 n.s.	4,3 ±2,2 b	1,9 ±0,8 n.s.	0,01 ±0,01 ab	1,6 ±0,9 n.s.	1,4 ±0,6
Heu G 30g TS	0,1 ±0,1 n.s.	4,5 ±3,5 c	1,5 ±0,9 n.s.	0,01 ±0,01 b	1,7 ±1,5 n.s.	1,2 ±0,6

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

n.s.: kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten eines Versuchsdurchganges

Auf Grundlage der gemessenen Urinmengen wurde für Natrium, Kalium, Kalzium und Phosphor eine „Bilanz“ der Mineralstoffe unter Berücksichtigung der fäkalen und renalen Ausscheidung errechnet. Dabei zeigt sich, dass es bei Natrium, Kalzium und Phosphor bei Reduzierung der Futtermenge zu einer Verschlechterung der Bilanz kommt. Die Kaliumbilanz ist in allen Versuchen negativ. Sie verbessert sich aber mit abnehmender Futtermenge und ist beim überständigen Heu weniger negativ als beim Heu durchschnittlicher Qualität. Die Natriumbilanz hat sich beim überständigen

Heu im Vergleich zum ersten Versuchsdurchlauf deutlich verschlechtert. Bei Kalzium und Phosphor ist dieser Unterschied weniger ausgeprägt. Auffällig ist die nahezu konstante fäkale Kalziumausscheidung, unabhängig von Futtermenge und -qualität. In Tabelle 28 und 29 sind die Ergebnisse als Mittelwerte mit Standardabweichung zusammengefasst. Die Werte der Einzeltiere finden sich im Anhang in Tabelle XXXXI-XXXVIII.

Tab. 28: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag

	Aufnahme mg/kg KM/Tag	Natrium Ausscheidung		Bilanz mg/kg KM/Tag	Aufnahme mg/kg KM/Tag	Kalium Ausscheidung		Bilanz mg/kg KM/Tag
		Kot mg/kg KM/Tag	Urin mg/kg KM/Tag			Kot mg/kg KM/Tag	Urin mg/kg KM/Tag	
Heu F ad lib.	23,2 ±2,2	10,3 ±1,2	0,8 ±0,1	12,2 ±1,9 a	90,1 ±8,6	32,3 ±3,0	158,8 ±21,7	-101,0 ±17,1 a
Heu F 76g TS	19,2 ±1,0	9,5 ±1,0	1,4 ±0,7	8,3 ±1,5 b	74,5 ±4,0	23,8 ±3,0	145,9 ±38,3	-95,1 ±36,8 ab
Heu F 53g TS	13,4 ±0,6	8,1 ±1,8	2,7 ±2,6	2,7 ±2,3 c	52,2 ±2,3	15,5 ±1,9	106,6 ±24,5	-69,9 ±23,0 b
Heu F 30g TS	7,7 ±0,3	6,8 ±2,2	2,5 ±2,9	-1,6 ±3,2 d	29,9 ±1,0	10,9 ±1,5	56,6 ±11,2	-37,6 ±11,6 c
Heu G ad lib.	13,5 ±0,9	7,8 ±1,5	0,3 ±0,1	5,4 ±0,7 a	54,4 ±3,8	23,1 ±2,3	109,9 ±41,6	-78,5 ±39,9 ab
Heu G 76g TS	12,3 ±0,7	7,3 ±0,8	0,5 ±0,3	4,5 ±1,2 a	49,2 ±2,8	24,3 ±1,1	104,9 ±21,9	-80,0 ±20,6 b
Heu G 53g TS	9,1 ±0,2	6,8 ±0,9	0,8 ±0,5	1,5 ±1,2 b	36,3 ±0,7	16,4 ±1,4	108,5 ±21,7	-88,5 ±21,3 b
Heu G 30g TS	5,0 ±0,2	6,6 ±1,2	2,5 ±2,0	-4,0 ±2,8 c	20,2 ±0,9	7,7 ±0,7	62,0 ±4,6	-49,5 ±4,3 a

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

Tab. 29: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag

	Aufnahme mg/kg KM/Tag	Kalzium Ausscheidung		Bilanz mg/kg KM/Tag	Aufnahme mg/kg KM/Tag	Phosphor Ausscheidung		Bilanz mg/kg KM/Tag
		Kot mg/kg KM/Tag	Urin mg/kg KM/Tag			Kot mg/kg KM/Tag	Urin mg/kg KM/Tag	
Heu F ad lib.	127,5 ±12,1	39,2 ±5,9	28,8 ±7,9	59,5 ±12,7 a	89,0 ±8,5	71,6 ±7,5	0,5 ±0,1	17,0 5,9 ab
Heu F 76g TS	105,4 ±5,7	40,6 ±3,5	16,6 ±6,3	48,2 ±7,6 a	73,6 ±4,0	55,6 ±8,0	0,4 ±0,2	17,7 7,9 a
Heu F 53g TS	73,9 ±3,3	43,6 ±4,3	11,4 ±2,2	18,8 ±5,9 b	51,6 ±2,3	41,5 ±5,9	0,3 ±0,2	9,8 5,5 b
Heu F 30g TS	42,3 ±1,5	39,1 ±2,2	13,3 ±4,1	-10,0 ±5,3 c	29,6 ±1,0	31,3 ±2,1	0,2 ±0,1	-2,0 1,1 c
Heu G ad lib.	92,7 ±6,3	42,7 ±9,1	1,3 ±1,5	48,7 ±8,1 ab	70,7 ±5,1	55,0 ±7,0	0,4 ±0,1	15,3 4,7 a
Heu G 76g TS	87,6 ±5,0	41,9 ±5,0	1,3 ±1,4	44,4 ±1,3 a	62,4 ±3,5	56,5 ±4,0	0,4 ±0,2	5,5 2,1 ab
Heu G 53g TS	64,7 ±1,2	42,5 ±3,1	0,9 ±0,9	21,2 ±4,5 b	46,1 ±0,9	44,1 ±2,3	0,3 ±0,1	1,6 2,8 b
Heu G 30g TS	35,9 ±1,6	39,6 ±5,2	1,3 ±1,2	-4,9 ±5,5 c	25,6 ±1,1	27,9 ±1,8	0,1 ±0,1	-2,5 1,8 b

a, b, c: unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant abweichende Werte innerhalb eines Versuchsdurchganges

4 Diskussion

4.1 Beurteilung der Versuchsmethoden

4.1.1 Futter- und Wasseraufnahme

Durch Abwiegen der Rationen und Rückwaage eventueller Futterreste konnte die aufgenommene Futtermenge exakt bestimmt werden. In der Phase der ad libitum Fütterung wurde durch das häufige Vorlegen kleinerer Futtermengen eine relativ gleichmäßige Futteraufnahme erreicht. Da die Ponies das überständige Heu nur schlecht akzeptierten, mussten hiervon, um möglichst hohe Futteraufnahmen zu erreichen, größere Mengen angeboten werden, was eine deutliche Selektion zur Folge hatte. Durch Rückwaage und gesonderte Analyse der Heureste wurde jedoch die veränderte Futterzusammensetzung in diesem Versuchsabschnitt bei den Berechnungen berücksichtigt und so eine Verfälschung der Versuchsergebnisse verhindert.

Da das Wasser zur freien Verfügung angeboten wurde, können hier gewisse Ungenauigkeiten durch äußere Einflüsse nicht ausgeschlossen werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass die Ponies, vor allem in den Phasen mit stark reduzierter Futtermenge, aus Langeweile oder zur Stillung des Hungergefühls mehr Wasser aufgenommen haben als unter normalen Bedingungen.

4.1.2 Mittlere Retentionszeit

Chromgebeizte Faser und Kobalt-EDTA wurden schon in zahlreichen früheren Studien mit guten Ergebnissen zur Untersuchung der Passagezeit verwendet (UDÉN und VAN SOEST 1982, CUDDEFORD et al. 1995, PEARSON et al. 2001, PEARSON et al. 2006). Durch die Erfassung des genauen Zeitpunktes und die Untersuchung jedes einzelnen Kotabsatzes konnte die Markerausscheidung sehr exakt dargestellt werden. In den oben erwähnten Studien wurden in der Regel Sammelkotproben zu festgelegten Zeitpunkten genommen, wobei die Intervalle nachts aus praktischen Gründen deutlich länger gewählt wurden, als tagsüber. VAN WEYENBERG (2006) stellt jedoch beim Vergleich verschiedener Untersuchungen fest, dass eine zu geringe Frequenz der Probennahme eine längere Passagedauer vortäuschen kann. Die nach der Formel von THIELEMANS et al. (1978) errechnete

mittlere Retentionszeit steht für den Punkt, an dem eine senkrechte Linie, die die Fläche der Ausscheidungskurve im Diagramm in zwei gleich große Hälften teilt, die x-Achse schneidet.

4.1.3 Scheinbare Verdaulichkeit

Die Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit erfolgte mit der Kollektionsmethode. Durch die 24-stündige Betreuung der Ponies während der Bilanzphase konnte der abgesetzte Kot vollständig quantitativ gesammelt werden. Da die Kothaufen möglichst unmittelbar nach dem Absetzen entfernt wurden, wurde eine Beeinflussung der Kot-Trockensubstanz, z.B. durch Sonneneinstrahlung oder Regenwasser, weitestgehend vermieden. Eine Verunreinigung des Kotes wurde durch Abdecken des Paddockbodens und mehrmals tägliche Reinigung der Planen ausgeschlossen. Durch die intensive Betreuung der Tiere war es auch möglich, bei „Sissi“ im zweiten Versuchsdurchgang bei Fütterung von 76g TS/kg^{0,75} Koprophagie zu beobachten, weshalb die Ergebnisse dieses Tieres für diesen Versuchsabschnitt nicht in die Berechnung der scheinbaren Verdaulichkeit miteinbezogen wurden.

Die Kollektionsmethode mit 24-stündiger Betreuung bei Paddockhaltung ermöglicht eine exakte Bestimmung der scheinbaren Verdaulichkeit unter relativ pferdegerechten Bedingungen. Die zum Teil sehr hohen Werte für die scheinbare ADL-Verdaulichkeit müssen als Artefakt angesehen werden, wie auch bei CROZIER et al. (1997).

4.1.4 Uringewinnung

Das Auffangen des Urins erfolgte nach spontanem Absatz. Dies bedeutete einen erheblichen Aufwand in der Versuchsdurchführung, ist aber aus Gründen des Tierschutzes der Verwendung von Bilanzständen eindeutig vorzuziehen. Auch die Harngewinnung über einen Harnröhrenkatheter ist bei längeren Bilanzphasen auf Grund der Infektionsgefahr nicht optimal. Neben dem Zeitaufwand ist die Genauigkeit der größte Nachteil dieser Methode, da nicht verhindert werden kann, dass die Tiere zwischendurch unkontrolliert Harn absetzen, was auch in diesem Versuch mehrfach der Fall war. Allerdings war der Urin auf der Abdeckung des Paddockbodens deutlich sichtbar, und dementsprechend wurden alle Tage, an denen der Urin eines Ponies

nicht vollständig aufgefangen werden konnte, bei der Berechnung der Ergebnisse nicht mit berücksichtigt. Ein weiteres Problem ergibt sich aus der Tatsache, dass die pro Tag aufgefangene nicht unbedingt mit der in 24 Stunden produzierten Urinmenge identisch ist, da sich am Ende eines Versuchstages noch Urin in der Blase befinden kann, während jedoch der nächste spontane Harnabsatz erst mehrere Stunden nach Beginn des neuen Versuchstages erfolgt. Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung des Harnvolumens ist die Errechnung auf Grundlage des Kreatiningehaltes des Urins, da die täglich im Bezug auf die Körpermasse ausgeschiedene Kreatininmenge mit 28g/kg KM/Tag als konstant angesehen wird. Folgende drei Formeln wurden hier verwendet:

MEYER und STADERMANN (1990)

$$\text{Harnvolumen [ml/100kg KM x h]} = 24,3 + \frac{14067}{\text{Kreatinin [mg/dl]}}$$

VOM STEIN (1985)

$$\text{Harnvolumen [ml/100kg KM x h]} = -7,4 + \frac{13502}{\text{Kreatinin [mg/dl]}}$$

HAVERKAMP (1988)

$$\text{Harnvolumen [ml/100kg KM x h]} = 55,9 + \frac{8090}{\text{Kreatinin [mg/dl]}}$$

In Tabelle 30 findet sich ein Vergleich der gemessenen sowie der nach den verschiedenen Formeln errechneten Urinmengen.

Tab. 30: Mittlerer Kreatiningehalt in mg/kg KM/Tag und mittleres Harnvolumen in l/Tag; Vergleich der eigenen Messungen mit der nach MEYER und STADERMANN (1990), VOM STEIN (1985) und HAVERKAMP (1988) errechneten Menge

	eigene Ergebnisse		errechnet nach MEYER & STADERMANN (1990)		errechnet nach VOM STEIN (1985)		errechnet nach HAVERKAMP (1988)	
	Harnvolumen l/Tag	Kreatinin mg/kg KM/Tag	Harnvolumen l/Tag	Differenz %	Harnvolumen l/Tag	Differenz %	Harnvolumen l/Tag	Differenz %
Bukra	11,2 ±5,5	22,0 ±3,6	20,7 ±11,7	84 ±25	17,2 ±11,3	43 ±30	15,6 ±6,6	51 ±38
Sissi	2,9 ±1,4	27,3 ±3,4	5,1 ±1,7	90 ±38	2,9 ±1,5	1 ±13	5,6 ±1,0	121 ±67
Gharib	3,4 ±1,0	28,4 ±3,6	5,4 ±1,3	63 ±24	3,6 ±1,3	3 ±20	5,3 ±0,8	67 ±39
Tarabas	4,3 ±1,7	23,5 ±4,1	8,1 ±3,0	89 ±19	5,8 ±2,9	29 ±26	7,3 ±1,7	81 ±36
gesamt	5,4 ±4,5	25,3 ±0,3	9,8 ±8,8	82 ±29	7,4 ±8,2	19 ±29	8,4 ±5,4	80 ±53

Dabei zeigt sich, dass alle errechneten Mengen größer sind als die tatsächlich aufgefangene Urinmenge. Bei der Berechnung nach MEYER und STADERMANN (1990) ist die Abweichung zu den gemessenen Werten mit 63-90% ziemlich hoch, aber relativ einheitlich. Sehr unterschiedliche Werte erhält man bei Verwendung der Formel von HAVERKAMP (1988). Hier liegt das errechnete Harnvolumen zwischen 51% und 121% über dem experimentell ermittelten. Die beste Übereinstimmung gibt es bei der Formel von VOM STEIN (1985), allerdings nur bei sehr geringen Urinmengen. Je größer das Harnvolumen wird, desto stärker wird die Abweichung zwischen errechneten und gemessenen Werten. Eine mögliche Ursache für diese Abweichungen könnte die oben erwähnte Ungenauigkeit bei der Erfassung der spontan abgesetzten Urinmengen sein. Da aber zum einen Verluste durch unkontrollierten Harnabsatz relativ sicher ausgeschlossen werden können und zum anderen die Abweichungen bei allen Tieren und in allen Versuchen gleichermaßen auftreten, ist eher davon auszugehen, dass der Kreatiningehalt als Parameter zur Berechnung des Harnvolumens für wissenschaftliche Zwecke zu ungenau ist, da vor allem, wie aus Tabelle 30 ersichtlich ist, die Kreatininausscheidung nur über einen längeren Zeitraum gesehen relativ konstant ist.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Futteraufnahme

Bei ad libitum Fütterung nahmen die Ponies durchschnittlich 23g TS/kg KM (entspr. 93g TS/kg^{0,75}) vom Heu mittlerer Qualität und 20g TS/kg KM (entspr. 82g TS/kg^{0,75}) vom überständigen Heu auf. Dies entspricht in etwa den Werten, die in der Literatur bei Fütterung von Grasheu zu finden sind (CYMBALUK 1990, CROZIER et al. 1997, LACASHA et al. 1999). PEARSON et al. verglichen 2006 die Futteraufnahme von früh und spät geschnittenem Grasheu. Dabei nahmen Ponies 23,1g TS/kg KM bzw. 20,8g TS/kg KM auf. Dass die Versuchstiere von dem überständigen Heu deutlich weniger aufgenommen haben, als von dem Heu durchschnittlicher Qualität, widerspricht der These von JANIS (1976), die inzwischen in Lehrbücher der Physiologie (vgl. VON ENGELHARDT 2004) übernommen wurde. Sie geht davon aus, dass Pferde bei schlechterem Futter, d.h. bei höherem Fasergehalt, mehr Futter aufnehmen, um so bei geringerem Nährstoffgehalt effektiv die gleiche Menge an aufgenommenen Nährstoffen zu erreichen, wie bei besserem Futter.

Betrachtet man jedoch die Ergebnisse für die Futteraufnahme aus verschiedenen Studien (vgl. Tab. 3), so zeigt sich dass die höchsten Werte durchweg bei Luzerneheu erreicht wurden. So fanden z.B. HAENLEIN et al. (1966), CYMBALUK (1990), CROZIER et al. (1997), LACASHA et al. (1999) und PEARSON et al. (2006) Futteraufnahmen zwischen 27,0 und 31,7g TS/kg KM. Bei einer reinen Strohdiet wurden hingegen nur 11,1-13,6g TS/kg KM aufgenommen (PEARSON et al. 2006). Es lässt sich also, wie auch aus Abbildung 14 ersichtlich ist, vielmehr ein Zusammenhang mit dem Proteingehalt des Futters herstellen. Proteinreicheres Futter wird in deutlich größeren Mengen aufgenommen, als solches mit niedrigem Proteingehalt. Diesen Zusammenhang stellten auch schon KENNEDY und HERSHBERGER (1974) beim unmittelbaren Vergleich von Rationen mit niedrigem und hohem Proteingehalt fest. Die in den eigenen Untersuchungen gefundenen Ergebnisse bestätigen diese Aussage. Die Futteraufnahme der Versuchstiere entspricht in etwa der, die bei gleichem Proteingehalt in anderen Studien beobachtet wurde.

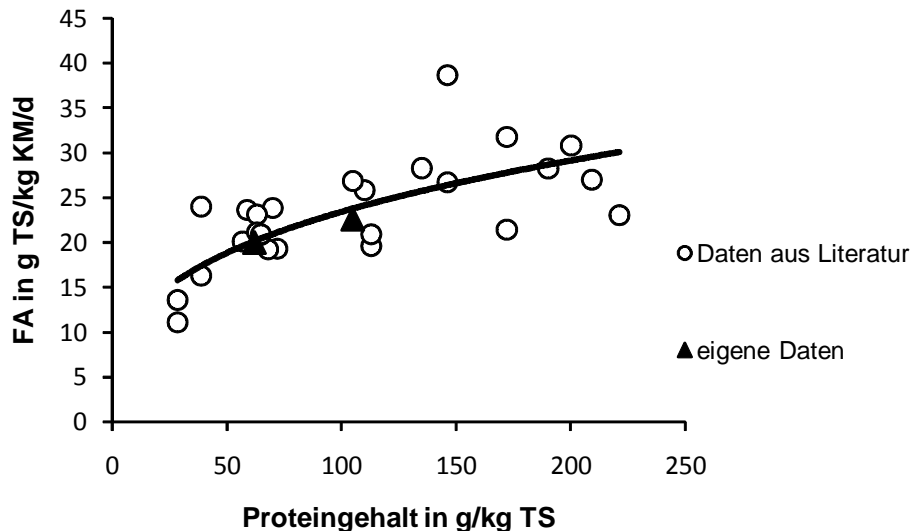


Abb. 14: Abhängigkeit der Futteraufnahme vom Proteingehalt der Ration nach Tabelle 3 und nach eigenen Ergebnissen

KUNTZ et al. 2006 dokumentierten die Futteraufnahme bei freilebenden Przewalski-Pferden über die Dauer von zwei Jahren. Auch hier wurden die höchsten Futteraufnahmen zu Zeiten des höchsten Proteingehaltes beobachtet. In den Wintermonaten verloren die Tiere hingegen an Gewicht, da die Futteraufnahme stark zurückging, obwohl ausreichend Futter zur Verfügung gestanden hätte. Die Autoren vermuten, dass der Energieverbrauch bei gesteigerter Futteraufnahme die mögliche Energieaufnahme aus dem nährstoffarmen Winterfutter überwiegt. Es verhält sich also bei den Equiden, wie bei zahlreichen anderen Tieren auch: In Zeiten, in denen genügend nährstoffreiches Futter vorhanden ist, wird viel Futter aufgenommen und in Fettdepots als Energiereserve gespeichert, während bei geringem Nährstoffangebot die Futteraufnahme reduziert wird und die körpereigenen Reserven abgebaut werden.

Unter Versuchsbedingungen fällt jedoch, im Gegensatz zur Futteraufnahme bei Wildpferden im Winter, kein erhöhter Energieaufwand durch vermehrte Fortbewegung und Thermoregulation an. Die Aufnahme von Stroh sollte also keinen wesentlich größeren Energieaufwand erfordern als die Aufnahme von Luzerne, so dass noch andere Faktoren an der Regulation der Futteraufnahme beteiligt sein müssen. RALSTON (1982) stellte bei Versuchen an Ponies mit Ösophagusfisteln fest, dass die Dauer der Futteraufnahme und die während einer Mahlzeit aufgenommene Futtermenge durch prägastrische Stimuli bestimmt werden. So

wurden bis zur Sättigung gleiche Futtermengen aufgenommen, unabhängig davon, ob das Futter in den Magen gelangte oder über die Fistel nach außen abgeleitet wurde. Die Abstände zwischen den Mahlzeiten hingegen werden durch gastrointestinale Faktoren beeinflusst. In den eigenen Versuchen wurde das überständige Heu gründlicher gekaut und die Ponies benötigten länger für die Aufnahme der Ration als bei dem Heu mit durchschnittlicher Qualität. Da die Tiere bei der rationierten Fütterung im zweiten Versuchsdurchgang ein deutlich ruhigeres und ausgeglicheneres Verhalten zeigten, kann vermutet werden, dass trotz identischer Futtermenge durch die vermehrte Kautätigkeit und die längere Fressdauer ein besseres Sättigungsgefühl erreicht wird. Das würde auch bedeuten, dass die Tiere bei ad libitum Fütterung bis zur Sättigung von dem überständigen Heu eine geringere Menge aufnehmen, als von dem Heu durchschnittlicher Qualität. Ein ähnlicher Effekt wurde auch beim Vergleich der Futteraufnahme von Heu in naturbelassener und in pelletierter Form beobachtet. HINTZ und LOY (1966) fanden bei rationierter Fütterung eine deutlich schnellere Aufnahme von pelletiertem Heu. Bei HAENLEIN (1966) war die Futteraufnahme bei pelletiertem Heu höher als bei naturbelassenem, so dass die Schlussfolgerung nahe liegt, dass längere Fressdauer und vermehrte Kautätigkeit für die geringere Futteraufnahme verantwortlich sind. Studien die diesen Sachverhalt eindeutig belegen fehlen jedoch bisher.

Außerdem sind bei Pferden die sensorischen Eigenschaften des Futters von großer Bedeutung. Sie zeigen häufig ein sehr selektives Fressverhalten unabhängig vom Nährwert des Futters (ARCHER 1973). Auch die Futterverweigerung bei reinen Strohrationen (FEHRLE 1999) ist nur so zu begründen.

4.2.2 Mittlere Retentionszeit

Bei den eigenen Versuchen war eine deutliche Verlängerung der Passagedauer bei abnehmender Futtermenge zu beobachten. So stieg die mittlere Retentionszeit für Partikel im ersten Versuchsdurchgang von 23 Stunden bei einer Futteraufnahme von 22,3g TS/kg KM auf 38,1 Stunden bei einer Futtermenge von 7,5g TS/kg KM an. Bei Fütterung des überständigen Heus lagen die Werte zwischen 31,3 Stunden bei einer Futteraufnahme von 20g TS/kg KM und 47,8 Stunden bei einer Futtermenge von 7,6g TS/kg KM. Die mittlere Retentionszeit der flüssigen Phase stieg von 20,7 auf 31,3 Stunden im ersten und von 22,8 auf 37,1 Stunden im zweiten

Versuchsdurchgang. Insgesamt war die gemessene Passagedauer, v.a. für die Flüssigkeit, in allen Versuchen relativ niedrig im Vergleich zu den in der Literatur gefundenen Werten (vgl. Abb. 15 und 16).

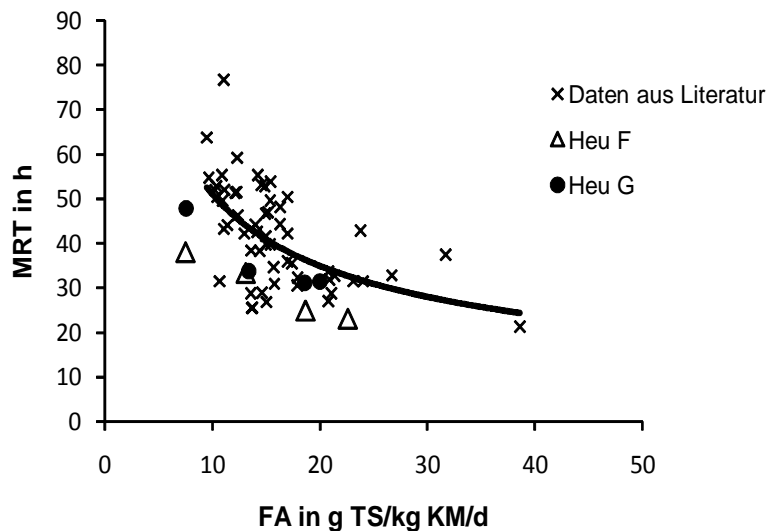


Abb. 15: Abhängigkeit der mittleren Retentionszeit für Partikel von der Futteraufnahme nach Tabelle 1 und 2 und nach eigenen Ergebnissen

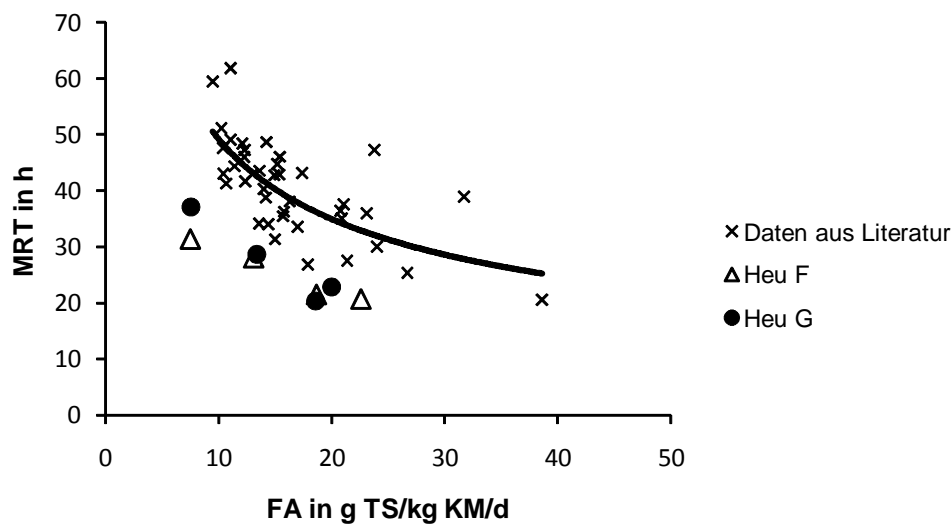


Abb. 16: Abhängigkeit der mittleren Retentionszeit für Flüssigkeit von der Futteraufnahme nach Tabelle 1 und 2 und nach eigenen Ergebnissen

In den bisher veröffentlichten Studien wurden i.d.R. Rationen mit unterschiedlicher Zusammensetzung in konstanter Menge gefüttert. Nur bei PEARSON et al. (2001) und PEARSON et al. (2006) wurden mehrere verschiedene Raufutterarten und zwei

Futtermengen, nämlich ad libitum und 70% der ad libitum aufgenommenen Menge, verglichen. Auch hier zeigte sich durchweg ein Anstieg der Passagedauer bei reduzierter Futteraufnahme. Einzige Ausnahme bilden Esel, bei denen die MRT für Stroh bei restriktiver Fütterung niedriger war, als bei ad libitum Fütterung (PEARSON et al. 2001). Allerdings gehen die Autoren hier vor allem auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Spezies ein. Der Einfluss der aufgenommenen Futtermenge wird nicht diskutiert.

KUNTZ et al. (2006) beobachteten bei wildlebenden Przewalski-Pferden einen deutlichen Anstieg der Retentionszeit bei abnehmender Futteraufnahme. Sie interpretieren dies als eine Strategie, um bei wechselnder Futterzusammensetzung eine optimale Ausnutzung der enthaltenen Nährstoffe zu erreichen. Bei hohem Proteingehalt ermöglichen hohe Futteraufnahmen und eine schnelle Darmpassage eine maximale Nährstoffaufnahme, während bei höherem Fasergehalt die Futteraufnahme sinkt und durch die verlängerte Retentionszeit eine bessere mikrobielle Zelluloseverdauung stattfinden kann.

In den eigenen Versuchen kann, außer bei der niedrigsten Futteraufnahme, bei gleicher Futtermenge kein signifikanter Unterschied der Passagezeit zwischen dem Heu durchschnittlicher Qualität und dem faserreicheren, überständigen Heu festgestellt werden. Es bestätigt sich also, dass kein genereller Zusammenhang zwischen der Futterqualität und der Retentionszeit besteht, sondern dass die Passagedauer vor allem durch die Futteraufnahme bestimmt wird.

Da in der Regel von faserreichem Futter weniger aufgenommen wird, ist hier indirekt die mittlere Retentionszeit sogar größer, als bei faserärmerem Futter

4.2.3 Verdaulichkeit der Rohfaser

Die Werte für die scheinbare Verdaulichkeit der Rohfaser bei ad libitum Fütterung, $76\text{g TS/kg}^{0,75}$ und $53\text{g TS/kg}^{0,75}$ sind etwas niedriger, als die in der Literatur bei vergleichbarer TS-Aufnahme gefundenen Werte. Sie lagen beim Heu durchschnittlicher Qualität zwischen 35% und 41% und beim überständigen Heu zwischen 32% und 35%. Es war weder zwischen diesen Futtermengen noch zwischen den beiden Heuarten ein signifikanter Unterschied feststellbar.

Bei Reduzierung des Futters auf eine errechnete Menge von $30\text{g TS/kg}^{0,75}$, was in den Versuchen einer tatsächlichen Futteraufnahme von 7,5 bzw. 7,6g TS/kg KM

entsprach, kam es jedoch zu einem drastischen Absinken der scheinbaren Rohfaserverdaulichkeit auf 11% im ersten und auf 24% im zweiten Versuchsdurchgang.

Dabei ist bemerkenswert, dass diese niedrigeren Verdaulichkeiten trotz einer deutlich längeren Passagezeit (vgl. 4.2.2) zustande kamen. Die starke Abnahme der Verdaulichkeit bei drastisch reduzierter Futteraufnahme lässt vermuten, dass die geringe absolute Nährstoffmenge nicht mehr für ein physiologisches Funktionieren der Darmflora der Ponies ausgereicht hat. Ähnliche Effekte wurden bereits für Wiederkäuer beschrieben.

Bei Schafen (NOZIÈRE et al. 2000, MICHALET-DOREAU und DOREAU 2001, ATTI et al. 2002) und Rindern (GRIMAUD et al. 1998, DOREAU und DIAWARA 2003, DOREAU et al. 2004) wurden bereits mehrere Studien mit Futtermengen unterhalb des Erhaltungsbedarfs durchgeführt.

DOREAU et al. (2003) geben eine Zusammenfassung der Befunde aus der Literatur zu Wiederkäuern. Wenn Rationen über dem Erhaltungsbedarf angeboten werden, sinkt die Verdaulichkeit generell mit steigender Futteraufnahme bei Wiederkäuern, vornehmlich aufgrund der beschleunigten Vormagenpassage. Dabei zeigen Wiederkäuer auf den niedrigeren Futteraufnahme-Niveaus eine feinere Zerkleinerung der Ingesta aufgrund intensiveren Kauens und Wiederkauens und eine weniger rasche Ingestapassage. Bei Rationen, die den Erhaltungsbedarf unterschreiten, ist jedoch vor allem auf Rauhfutter-Rationen zu beobachten, dass die Verdaulichkeit nicht nur der organischen Substanz, sondern auch der Faserfraktion verringert ist. Diese verringerte Verdaulichkeit ist – wie auch bei den Pferden der vorliegenden Studie – dabei trotz der längeren Passagezeit zu beobachten. Bei Wiederkäuern ist zudem die Kauaktivität pro Futtermenge bei niedriger Futteraufnahme erhöht und resultiert oft in feineren Ingestapartikeln. In den eigenen Untersuchungen konnte kein Zusammenhang zwischen der Futtermenge und der Kot-Partikelgröße festgestellt werden.

DOREAU et al. (2003) fassen zusammen, dass ein Mangel an Nährstoffen für die symbiotischen Mikroben die wahrscheinlichste Ursache für den Abfall in der Verdaulichkeit bei sehr geringer Futteraufnahme ist. Eine andere Ursache könnte sein, dass eine geringe Futteraufnahme mit einer Veränderung des Inhalts der Fermentationskammer einhergeht, wie er bei Wiederkäuern beschrieben wurde – der

Inhalt wird wässrig. In solch einem Inhalt, so spekulieren DOREAU et al. (2003), könnte aufgrund reduzierten Partikelkontakts die Besiedelung der wenigen Futterpartikel mit Bakterien erschwert sein.

4.2.4 Scheinbare und wahre Verdaulichkeit, fäkale endogene Verluste

4.2.4.1 Allgemeines

Bei einigen Nährstoffen, wie z.B. dem Rohprotein, ist die Beurteilung der scheinbaren Verdaulichkeit wenig sinnvoll, da ein Teil des im Kot enthaltenen Nährstoffes nicht aus dem Futter stammt, sondern endogenen Ursprungs ist (KAMPHUES et al. 2004). Diese fäkalen endogenen Verluste können experimentell durch den Einsatz von Isotopen (stabil oder radioaktiv) ermittelt werden. Allerdings ist es auch möglich, sie anhand von Regressionsberechnungen anhand von Daten aus Verdauungsstudien abzuschätzen. Dabei wird angenommen, dass sich die Beziehung zwischen Aufnahme und Ausscheidung eines Nähr- oder Mineralstoffs als linear darstellt, dass der Schnittpunkt mit der y-Achse (die „Extrapolation gegen Null“) die endogenen Verluste und die Steigung der Geraden die „wahre“ Verdaulichkeit repräsentiert (ROBBINS 1993). Das Auftragen der Aufnahme an verdaulichem Nährstoff gegen die Nährstoffaufnahme wird gemeinhin als Lucas-Test bezeichnet (VAN SOEST 1967, PEARSON et al. 2006).

Eine wichtige Frage, die in der Literatur kaum erörtert wird und nicht geklärt ist, ist, welche Bezugsgröße für die Aufnahme und Ausscheidung gewählt werden soll. Mindestens vier verschiedene Möglichkeiten stehen hier zur Auswahl – die absolute Darstellung (Aufnahme des Nährstoffes in g/Tag), die Darstellung in Bezug auf die aufgenommene TS-Menge (Aufnahme des Nährstoffes in g/100g TS), in Bezug auf die Körpermasse (Aufnahme des Nährstoffes in g/kg KM/Tag) oder in Bezug auf das metabolische Körpergewicht (Aufnahme des Nährstoffes in $\text{g/kg}^{0,75}$ /Tag). Die Entscheidung für eine Darstellungsart ist konzeptuell – man nimmt entweder an, dass endogene Verluste eine Funktion der Futteraufnahme-Menge sind, oder, dass sie eine Funktion des (metabolischen) Körpergewichtes sind. Man mag argumentieren, dass es schwer vorstellbar scheint, dass selbst bei völliger

Nahrungskarenz regelmäßig eine gleichbleibende Menge endogenes Material mit dem Kot ausgeschieden wird, und aus diesem Grund die Futteraufnahme als Bezugsgröße bevorzugen.

Nicht jeder Datensatz eignet sich für jede Darstellungsform. Wenn zum Beispiel eine große Bandbreite von Futterrationen mit unterschiedlichen Nährstoffgehalten (unterschiedliche Werte für einen Nährstoff in g/100 g TS) untersucht wird (oder anhand von Literaturdaten zur Verfügung steht), bietet sich die Analyse in Bezug auf die Futteraufnahme an; diese Darstellung ist auch in der Literatur oft zu finden (VAN SOEST 1967, ROBBINS 1993, PEARSON et al. 2006). Werden hingegen – wie in der vorliegenden Arbeit – nur eine oder zwei Rationen untersucht, allerdings mit wechselndem Futteraufnahme-Niveau, bieten sich die anderen Darstellungsmöglichkeiten an. Dabei kann auch untersucht werden, ob sich die so berechneten endogenen Verluste und wahren Verdaulichkeiten zwischen den getesteten Rationen rechnerisch unterscheiden – eine Möglichkeit, die in der Auswertung bezogen auf die Futteraufnahme, in der Daten aus Versuchen mit verschiedenen Futtermitteln genutzt werden, implizit negiert wird, wie die nachfolgende Überlegung zeigt.

Theoretisch lässt sich anhand von Angaben zu den endogenen Verlusten (pro Futteraufnahme; eV) und der dabei ermittelten wahren Verdaulichkeit (wV) eine scheinbare Verdaulichkeit für einen Nährstoff berechnen anhand der Gleichung:

$$sV_Y [\%] = \frac{\text{Aufnahme}_Y [\text{g}] - (\text{Aufnahme}_Y \times (1 - wV)) + (\text{Aufnahme}_{TS} \times eV)}{\text{Aufnahme}_Y [\text{g}]}$$

mit Y = beliebiger Nährstoff

Da die Nährstoff-Aufnahme eine Funktion der TS-Aufnahme (TSA) ist (Nährstoff-Aufnahme = TSA * Nährstoff-Gehalt), kann man diese Gleichung auflösen nach

$$sV_{\text{Nährstoff}} [\%] = wV - \frac{eV}{\text{Nährstoffgehalt}}$$

(siehe auch Robbins 1993, S. 293)

Damit ergibt sich rechnerisch für ein Futtermittel eines bestimmten Nährstoff-Gehaltes genau **ein** Wert für die scheinbare Verdaulichkeit.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen jedoch, dass – abhängig von der Futteraufnahme – die scheinbare Verdaulichkeit eines Nährstoffes für ein bestimmtes Futtermittel variieren kann. Die aus der Literatur abgeleiteten Werte für die wahre Verdaulichkeit und die endogenen Verluste können also die in dieser Studie beobachteten Variationen der scheinbaren Verdaulichkeit mit der Futteraufnahme nicht erklären. Dies liegt vermutlich darin begründet, dass die tatsächliche ‚wahre Verdaulichkeit‘, und damit auch die endogenen Verluste, je nach Futtermittel und Futterration variieren.

Diese Vermutung kann überprüft werden, indem die Aufnahme an Nährstoff (in Abbildung 17 und 18 beispielhaft für Kalium) mit der Aufnahme an verdaulichem Nährstoff für die in dieser Studie verwendeten Heus getrennt aufgetragen wird. Die endogenen Verluste werden bezogen auf die Aufnahme in g/Tag und mg/kg KM dargestellt.

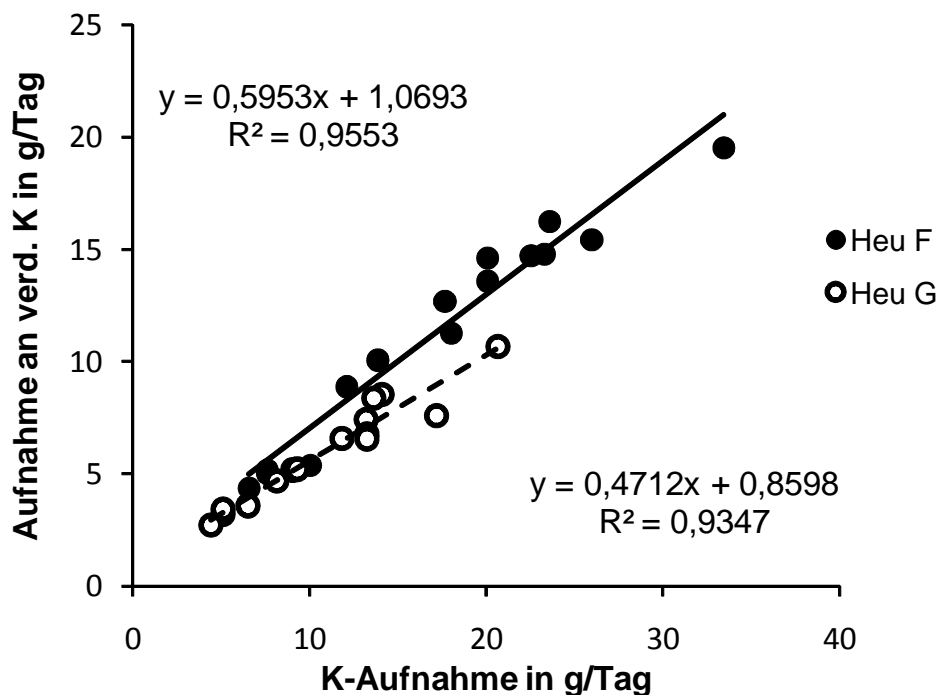


Abb. 17: Ermittlung der fäkalen endogenen Verluste (Schnittpunkt mit y-Achse) für Kalium bezogen auf die absolute Menge

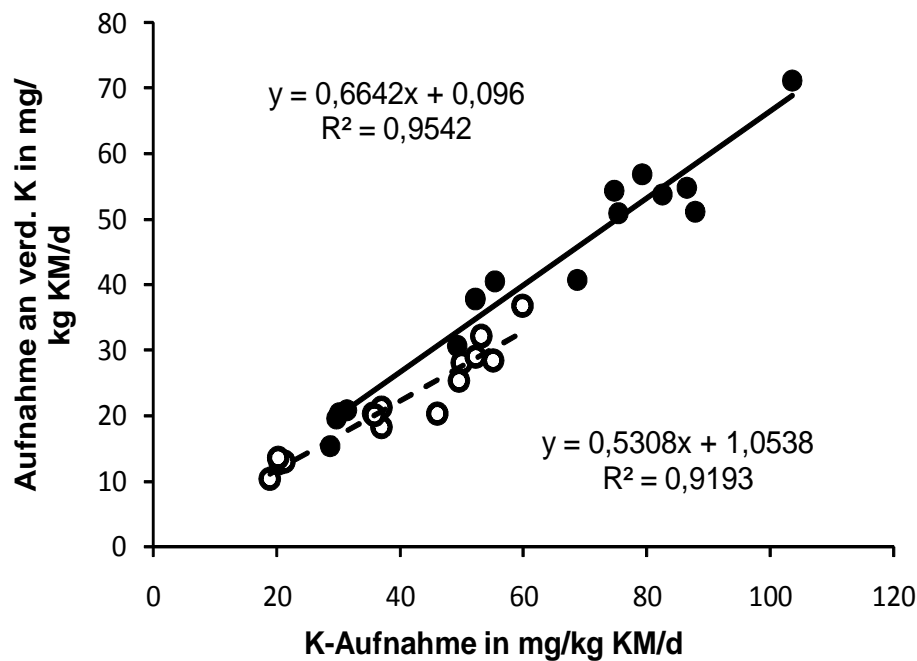


Abb. 18: Ermittlung der fäkalen endogenen Verluste (Schnittpunkt mit y-Achse) für Kalium bezogen auf die Menge pro kg KM

4.2.4.2 Rohprotein

Die scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins lag in den eigenen Untersuchungen zwischen 58% und 62% im ersten und zwischen 30% und 42% im zweiten Versuchsdurchlauf. Diese Werte entsprechen, wie aus Abbildung 19 ersichtlich ist, denen, die in der Literatur bei Fütterung von Raufutterrationen mit einem ähnlichen Proteingehalt, wie dem hier verwendeten, zu finden sind (DARLINGTON und HERSHBERGER 1968, CUDDEFORD et al. 1995, MOORE-COLYER et al. 2003, PEARSON et al. 2006). Die eigenen Ergebnisse bestätigen den Zusammenhang zwischen Proteingehalt und scheinbarer Verdaulichkeit des Rohproteins, da die Werte bei Fütterung des Heus durchschnittlicher Qualität mit einem Proteingehalt von 105g/kg TS deutlich höher waren, als beim überständigen Heu mit einem Proteingehalt von 58g/kg TS.

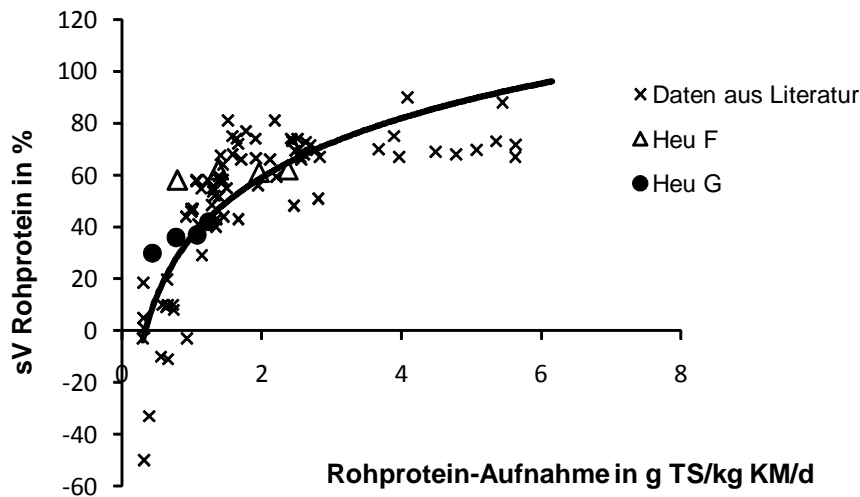


Abb. 19: Zusammenhang zwischen aufgenommener Proteinmenge in g/kg KM/Tag und scheinbarer Verdaulichkeit des Rohproteins in % nach Tab. 3 und nach eigenen Ergebnissen

Ein Einfluss der Futtermenge auf die scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins war nicht zu beobachten. Die scheinbare Verdaulichkeit ging zwar in beiden Versuchsdurchgängen bei Reduzierung der Futtermenge zurück, der Unterschied war jedoch nicht signifikant. Dies entspricht den Ergebnissen von PEARSON et al. (2001) und PEARSON et al. (2006).

Um zu überprüfen, ob der Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit des Rohproteins bei sinkender Aufnahme, im wesentlichen ein Effekt der endogene Verluste ist, wurden diese aus den eigenen Daten für Heu F und Heu G getrennt geschätzt. Dazu wurde, wie unter 4.2.4.1 beschrieben, die N-Aufnahme in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ gegen die Aufnahme an verdaulichem N in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ aufgetragen (vgl. Abb. 20).

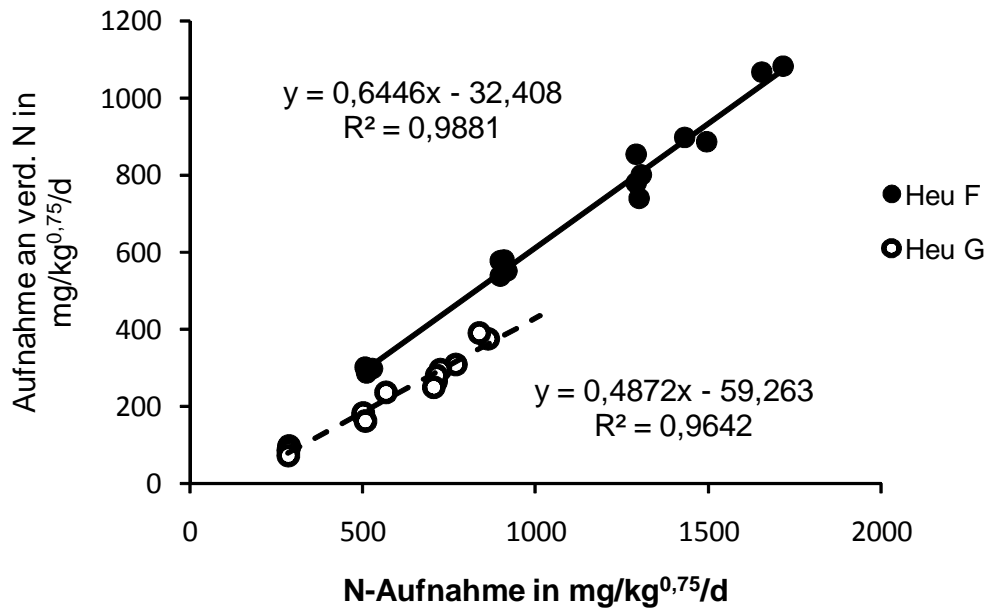


Abb. 20: Aufnahme an verdaulichem N in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ bezogen auf die N-Aufnahme in $\text{mg/kg}^{0,75}/\text{Tag}$

Es ergaben sich Werte für die endogenen fäkalen Verluste von $32,4 \text{ mg N/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ für Heu F und von $59,3 \text{ mg N/kg}^{0,75}/\text{Tag}$ für Heu G. Diese Werte entsprechen in etwa jenen, die bei MEYER (1984) beschrieben werden. Auch nach VOM STEIN (1985) sind fäkale endogene N-Abgaben in dieser Größenordnung zu erwarten.

Die wahre Verdaulichkeit von Heu F war mit 64% deutlich höher, als die von Heu G mit 49%. Möglicherweise besteht ein Zusammenhang zwischen der wahren Verdaulichkeit des Rohproteins und dem Fasergehalt des Futters.

4.2.5 Mineralstoffe und Spurenelemente

Bei Betrachtung der scheinbaren Verdaulichkeit der Mineralstoffe und Spurenelemente fällt auf, dass es mit Ausnahme von Kalium bei abnehmender Futtermenge auch zu einem Rückgang der Verdaulichkeit kommt. Da bei Mineralstoffen und Spurenelemente z.T. erhebliche endogene fäkale Verluste vorhanden sind, ist eine Beurteilung auf Basis der scheinbaren Verdaulichkeit nicht sinnvoll.

In Tabelle 31 sind die nach aus den eigenen Versuchsergebnissen ermittelten wahren Verdaulichkeiten und endogenen Verluste für alle in dieser Studie untersuchten Mineralstoffe (Ca, K, Mg, Na, P) und Spurenelemente (Cu, Zn) zusammengefasst.

In Tabelle 32 findet sich ein Vergleich der scheinbaren und der wahren Verdaulichkeit der Mineralstoffe und Spurenelemente. Hierbei wurde die wahre Verdaulichkeit unter Annahme konstanter endogener fäkaler Verluste nach folgender Formel errechnet:

$$wV (\%) = \frac{\text{Nährstoff im Futter} - (\text{Nährstoff im Kot} - \text{endogene Verluste})}{\text{Nährstoff im Futter}} \times 100$$

Tab. 31: Wahre Verdaulichkeit in % und endogene Verluste in g/Tag und mg/kg KM/Tag von Heu F und Heu G für Mineralstoffe (Ca, P, Na, K, Mg) und Spurenelemente (Cu, Zn)

	wahre Verdaulichkeit %		endogene Verluste			
	Heu F	Heu G	g/Tag		mg/kg KM/Tag	
			Heu F	Heu G	Heu F	Heu G
Ca	99	94	9,8	9,1	39,9	37,4
P	34	36	2,5	3,3	9,6	12,7
Na	78	84	1,2	1,1	5,2	5,5
K	66	53	-0,9	-0,9	-0,1	-1,1
Mg	59	46	19,0	13,2	71,7	52,1
Cu	62	34	57,4	21,2	0,2	0,1
Zn	49	21	541,9	343,0	2,4	1,5

Für Kalzium liegen die errechneten endogenen Verluste mit 39,9 mg/kg KM/Tag bei Heu F bzw. 37,4 mg/kg KM/Tag bei Heu G deutlich über dem von SCHRYVER et al. (1970) ermittelten Wert von 20mg/kg KM/Tag, kommen aber den von STÜRMER (2005) errechneten 33mg/kg KM/Tag recht nahe. Als Folge der hohen endogenen Verluste ist auch die wahre Verdaulichkeit mit 87-97% deutlich höher als die bei

HINTZ und SCHRYVER (1973) beobachteten 65-85%. Der negative Wert der scheinbaren Verdaulichkeit bei einer Futtermenge von 30g TS/kg MKG bei Heu G kann nicht durch eine Ca-Unterversorgung erklärt werden, da bei allen Versuchsdurchgängen die Ca-Aufnahme über der empfohlenen Menge von 5g/100 kg KM lag. Auch ein relativer Phosphorüberschuss und eine dadurch eingeschränkte Kalziumresorption kann ausgeschlossen werden, da bei beiden Heuarten das Ca:P-Verhältnis bei 1,4:1 lag.

Die endogenen Verluste für Phosphor betrugen in den eigenen Untersuchungen 9,6mg/kg KM/Tag bei Heu F und 12,7mg/kg KM/Tag bei Heu G. Das entspricht in etwa den Ergebnissen von SCHRYVER et al. (1971), die für Rationen mit verschiedenen Phosphorgehalten fäkale endogene Verluste zwischen 7mg/kg KM/Tag und 13mg/kg KM/Tag ermittelten. Die Werte für die scheinbare und die wahre Verdaulichkeit entsprechen in etwa denen von HINTZ und SCHRYVER (1973). Bei den negativen Werten für die scheinbare Verdaulichkeit lag die Menge des aufgenommenen Phosphors unter der empfohlenen Menge von 3g/100kg KM/Tag.

Für die scheinbare Verdaulichkeit von Natrium ergaben die eigenen Untersuchungen Werte zwischen -31% und 56%. Der negative Wert deckt sich mit den Beobachtungen von STÜRMER (2005) und MEYER (1980), die ab einer Na-Aufnahme von unter 10mg/kg KM/Tag, in den eigenen Untersuchungen lag die Aufnahme bei 5mg/kg KM/Tag, ebenfalls eine negative scheinbare Verdaulichkeit für Natrium beschreiben. Die anderen Werte sind vergleichsweise niedrig. So findet man z.B. bei HINTZ und SCHRYVER (1976) eine scheinbare Verdaulichkeit für Natrium von rund 71%. Dies entspricht der in den eigenen Versuchen ermittelten wahren Verdaulichkeit. Hierzu fehlen jedoch ebenso wie zu den endogenen Verlusten Vergleichswerte in der Literatur.

HINTZ und SCHRYVER (1976) fanden einen Anstieg der scheinbaren Verdaulichkeit von Kalium mit Erhöhung der aufgenommenen Menge. Dies konnte in den eigenen Untersuchungen nicht nachvollzogen werden. Hier lagen die Werte für die scheinbare Verdaulichkeit zwischen 53% und 70%, wobei z.T. bei geringerer K-Aufnahme sogar die höheren Verdaulichkeiten zu beobachten waren. Dies deckt sich

jedoch mit den Angaben der GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1994), die für Kalium eine relativ konstante Verdaulichkeit von 70-80% angibt.

Für die endogenen fäkalen Verluste von Magnesium ergeben die Berechnungen auf Grundlage der eigenen Ergebnisse einen Wert von 71,7mg/kg KM/Tag bei Heu F und von 52,1mg/kg KM bei Heu G. Diese liegen deutlich über dem von HINTZ und SCHRYVER (1973) ermittelten Wert von 2,22mg/kg KM/Tag. Trotz der höheren endogenen Verluste ist jedoch die wahre Verdaulichkeit in den eigenen Untersuchungen mit Werten zwischen 43% und 66% z.T. niedriger als bei HINTZ und SCHRYVER (1973), die Werte zwischen 53% und 63% beschreiben. Eine Ursache für diese deutlichen Abweichungen könnte die Tatsache sein, dass in der Regel in allen Studien zum Mineralstoffhaushalt die unterschiedlichen Mineralstoffgehalte durch Zulage einer chemischen, in der Regel anorganischen, Verbindung des zu untersuchenden Elementes zu einer Grundration erreicht werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Veränderungen der scheinbaren Verdaulichkeit, und damit die Grundlage zur Berechnung der endogenen fäkalen Verluste, sich unterscheiden, je nachdem, ob zur Veränderung der absoluten Nährstoffaufnahme die Zusammensetzung des Futters oder die Menge des Futters variiert wird.

Die endogenen Verluste von Kupfer liegen mit Werten von 0,2mg/kg KM/Tag für Heu F und 0,1mg/kg KM/Tag über den von CYMBALUK et al. (1981) ermittelten 0,032mg/kg KM/Tag. Auch bei der scheinbaren Verdaulichkeit zeigen sich deutliche Abweichungen. CYMBALUK et al. (1981) beschreiben eine Zunahme der scheinbaren Verdaulichkeit bei abnehmender Kupferaufnahme mit dem Futter. Bei den eigenen Untersuchungen kam es hingegen zu einem deutlichen Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit mit Reduzierung der Futtermenge. Ab einer Futteraufnahme von 53g TS/kg^{0,75} bei Heu F bzw. 30g TS/kg^{0,75} wurden sogar negative Werte erreicht. LAWRENCE (2005) gibt eine Zusammenfassung der Werte für die scheinbare und die wahre Verdaulichkeit von Kupfer aus verschiedenen Arbeiten. Auch hier finden sich relativ große Unterschiede, allerdings sind keine negativen Werte aufgeführt.

Bei Zink kam es zu einem deutlichen Rückgang der scheinbaren Verdaulichkeit bei Reduzierung der Futtermenge. Die Werte der eigenen Untersuchungen lagen zwischen -72% und 19%. Diese Anhängigkeit der scheinbaren Verdaulichkeit von der Zink-Aufnahme beschreiben auch SCHRYVER et al. (1980). Allerdings ermittelten sie bei vergleichbaren Aufnahmen deutlich höhere Werte. Für die wahre Verdaulichkeit gibt es keine Vergleichswerte, da SCHRYVER et al. (1980) mit der Isotopenmethode nachweisen konnten, dass die endogenen fäkalen Verluste bei Zink von der Aufnahme abhängen und nicht, wie bei der Berechnung der wahren Verdaulichkeit vorausgesetzt, konstant sind.

In den eigenen Untersuchungen ist eindeutiger Unterschied zwischen den beiden Heusorten für Magnesium, Kupfer und Zink zu erkennen. Bei diesen Elementen ergibt sich für Heu G auf Grund der geringeren endogenen Verluste eine deutlich niedrigere wahre Verdaulichkeit, während bei Kalzium, Phosphor, Natrium und Kalium keine wesentliche Veränderung zwischen den beiden Heuarten feststellbar ist. Bei Reduzierung der Futtermenge nimmt die wahre Verdaulichkeit im Gegensatz zur scheinbaren Verdaulichkeit nur wenig ab, wie aus Tabelle 32 ersichtlich ist.

Ein grundsätzliches Problem bei der Untersuchung und Beurteilung der endogenen Verluste und der wahren Verdaulichkeit ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass es, wie oben dargestellt, verschiedene Möglichkeiten der Berechnung mit unterschiedlichen Bezugsgrößen gibt. Zum anderen ist es fraglich, ob eine echte Beurteilung der Ergebnisse möglich ist, wenn die unterschiedliche Aufnahme durch eine Veränderung der Rationszusammensetzung und nicht durch eine Veränderung der Futteraufnahme zustande kommt. Außerdem ist nicht geklärt, ob der Wert für die endogenen Verluste, der mit einer bestimmten Futterration ermittelt wurde, allgemeine Gültigkeit hat, oder nur für diese spezielle Ration realistische Werte liefert. So ergaben sich ja bei den eigenen Untersuchungen deutliche Unterschiede zwischen den endogenen Verlusten bei Heu F und Heu G. Außerdem berichten verschiedene Autoren von komplexen Interaktionen zwischen den einzelnen Nährstoffen. Beispielsweise berichten HINTZ und SCHRYVER (1976) von einem Anstieg der scheinbaren Verdaulichkeit von Kalium bei zunehmendem Magnesiumgehalt im Futter.

Tab. 32: Vergleich der scheinbaren und der wahren Verdaulichkeit der Mineralstoffe (Kalzium, Kalium, Magnesium, Natrium, Phosphor) und Spurenelemente (Kupfer, Zink) für Heu F und Heu G bei unterschiedlichen Futtermengen

	Kalzium		Phosphor		Kalium		Magnesium		Natrium		Kupfer		Zink	
	sV	wV	sV	wV	sV	wV	sV	wV	sV	wV	sV	wV	sV	wV
Heu F ad lib.	69 ±3,1	97 ±1,9	19 ±6,7	30 ±5,2	64 ±4,4	68 ±4,9	46 ±5,7	59 ±3,9	56 ±5,2	74 ±4,5	10 ±7,6	29 ±5,3	19 ±5,9	54 ±8,4
Heu F 76g TS	62 ±2,9	95 ±6,1	24 ±11,5	37 ±12,1	68 ±6,1	72 ±6,7	42 ±3,3	59 ±4,2	51 ±5,6	73 ±7,3	8 ±5,3	31 ±5,8	9 ±8,4	52 ±13,1
Heu F 53g TS	41 ±6,2	90 ±10,2	20 ±11,7	37 ±12,1	70 ±5,2	77 ±6,1	31 ±4,6	55 ±7,9	39 ±16,2	72 ±20,3	-11 ±4,4	23 ±9,4	-14 ±4,9	48 ±13,5
Heu F 30g TS	8 ±6,1	97 ±18,3	-6 ±3,8	27 ±1,7	63 ±6,6	75 ±8,4	21 ±5,3	65 ±10,7	11 ±34,0	71 ±43,2	-25 ±2,1	36 ±11,7	-72 ±24,7	41 ±39,4
Heu G ad lib.	54 ±9,7	90 ±4,0	22 ±7,3	39 ±6,0	57 ±4,5	64 ±5,4	33 ±6,4	46 ±4,7	42 ±7,5	72 ±9,8	10 ±4,2	17 ±4,0	2 ±3,9	32 ±5,3
Heu G 76g TS	54 ±4,1	89 ±4,1	14 ±9,0	28 ±4,4	53 ±6,9	57 ±6,9	32 ±10,7	43 ±11,9	43 ±7,4	73 ±11,3	15 ±7,8	20 ±4,8	-5 ±24,2	15 ±19,9
Heu G 53g TS	34 ±6,2	87 ±13,2	4 ±6,4	31 ±6,3	55 ±3,7	64 ±5,5	26 ±9,9	45 ±11,3	25 ±8,6	71 ±14,2	6 ±4,5	18 ±4,0	-22 ±17,4	21 ±19,0
Heu G 30g TS	-10 ±17,0	88 ±28,0	-9 ±8,3	41 ±13,3	62 ±5,0	79 ±6,9	12 ±12,9	47 ±16,5	-31 ±31,0	54 ±40,3	-4 ±3,1	18 ±4,3	-63 ±28,8	16 ±32,6

4.2.6 Bedeutung der Ergebnisse für die Praxis

Beim Pferd wird als Erhaltungsbedarf eine Aufnahme an verdaulicher Energie von $0,6\text{MJ/kg}^{0,75}$ vorausgesetzt. Dieser Wert wurde erst bei einer Futteraufnahme von $53\text{g TS/kg}^{0,75}$ unterschritten. Gleichzeitig traten in diesem Versuchsabschnitt erstmals deutliche Gewichtsverluste auf. Bei Heu F zeigten die Pferde in diesem und noch mehr im folgenden Versuchsabschnitt, bei einer Futteraufnahme von $30\text{gTS/kg}^{0,75}$, eine sehr hastige Futteraufnahme. Außerdem begannen sie alle erreichbaren Holzteile der Aufstallung zu benagen sowie die Gewebeplanen, mit denen der Paddockboden abgedeckt war, zu zerreißen und teilweise sogar abzuschlucken. Bei Heu G hingegen benötigten die Ponies deutlich länger für die Futteraufnahme, da zuerst die feineren Anteile aussortiert und aufgenommen wurden und erst anschließend die gröberen Halme verzehrt wurden. Das überständige Heu wurde zudem gründlicher gekaut, was deutlich an der Kot-Partikelgröße zu erkennen war. Die Tiere waren wesentlich ruhiger und gelassener als im ersten Versuchsabschnitt, und die oben erwähnten Untugenden traten nur bei einzelnen Tieren und erst bei der geringsten Futtermenge auf. Nach MEYER et al. (1975) und BRÜSSOW (2006) hängt sowohl die für die Futteraufnahme benötigte Zeit als auch die Intensität der Kauarbeit vom Anteil der strukturierten Rohfaser im Futter ab. Da jedoch, im Gegensatz zu ihren freilebenden Artgenossen, die täglich 14,4-21,4 h (DUNCAN et al. 1980, KRULL 1984) mit der Nahrungsaufnahme beschäftigt sind, die Pferde in den heute üblichen Haltungsformen mit rationierter Fütterung nur einen geringen Anteil des Tages mit der Futteraufnahme verbringen, sollte versucht werden, diesen durch den Einsatz eines rohfaserreicheren Heus zu verlängern, um die Gefahr für das Auftreten von Verhaltensstörungen, wie sie in Ansätzen bei den Versuchstieren zu erkennen waren, zu verringern. MEYER et al. (1986) stellten außerdem fest, dass die Speichelbildung beim Pferd vor allem von der Dauer der Futteraufnahme abhängt. Bei verkürzten Futteraufnahmezeiten wird weniger Speichel gebildet, und es kommt zu einem Anstieg des TS-Gehaltes des Mageninhaltes. Dies führt zu einer mangelhaften Durchmischung des Futterbreis mit dem Magensaft, wodurch zum einen die Bildung von Magengeschwüren begünstigt wird und zum anderen die Gefahr von Fehlgärungen im Magen und im Dünndarm steigt.

Für die Praxis ließe sich aus den Versuchsergebnissen ableiten, dass bei der Fütterung übergewichtiger Pferde zur Gewichtsreduktion ein überständiges Heu mit geringerem Energie- und Proteingehalt sowie einem höheren Rohfaseranteil gut geeignet ist. Besonders vorteilhaft ist die Tatsache, dass, im Gegensatz zu Stroh, bei Futteraufnahmen um 50g TS/kg^{0,75} für überständiges Heu keine Verlängerung der mittleren Retentionszeit im Vergleich zu Heu mittlerer Qualität festzustellen war. Daraus kann geschlossen werden, dass beim Einsatz von überständigem Heu zur Gewichtsreduktion die Gefahr von Verstopfungskoliken, wie sie häufig auftreten, wenn ein Teil der Heuration durch Stroh ersetzt wird, verringert werden kann.

Ab einer Futtermenge von 30g TS/kg^{0,75} kam es vor allem beim überständigen Heu zu einem deutlichen Anstieg der Passagedauer, und es ist zu vermuten, dass sich diese Tendenz bei noch geringeren Futtermengen weiter verstärkt, was vor allem bei verringerter Futteraufnahme, z.B. bei Infektionen, oder bei der Anfütterung mit Heu nach Nahrungsentzug, z.B. nach Kolik oder Laparotomie, von besonderer Bedeutung ist. Da nach Operationen als Folge der Narkose (LESTER et al. 1992) und auf Grund des Bewegungsmangels (ORTON et al. 1985) die Gefahr für die Entstehung von Obstipationen besonders hoch ist, ist eine sorgfältige Planung der postoperativen Rationsgestaltung vor allem bei Kolikpatienten von größter Wichtigkeit. Nach den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen kann dieses Risiko durch die Verwendung eines möglichst faserarmen Heus verringert werden. Dies entspricht auch den auf praktischen Erfahrungen beruhenden Angaben in der Literatur. So empfehlen z.B. RALSTON (2002) und GEOR (2005) Luzerneheu zur Anfütterung nach Nahrungsentzug.

Auch die traditionelle Anwendung abführender Futtermittel wie Kleie, Leinsamen und Mash, bei kranken Pferden, kann durch die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen erklärt werden.

5 Zusammenfassung

Kristina Schiele

Einfluss reduzierter Futterzuteilung zweier verschiedener Heuqualitäten auf Passagedauer und Verdaulichkeit bei Ponies

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Auswirkung von Futtermengen unterhalb des Erhaltungsbedarfes auf die mittlere Retentionszeit und auf die scheinbare Verdaulichkeit an vier adulten Ponies untersucht. Dazu wurden von einem Heu mittlerer Qualität (Heu F) im ersten und von einem überständigen Heu (Heu G) im zweiten Versuchsdurchgang jeweils vier verschiedene Mengen gefüttert: ad libitum, 76g TS/kg^{0,75}, 53g TS/kg^{0,75} und 30g TS/kg^{0,75}. Zusätzlich wurde den Tieren 10 Stunden vor Beginn jeder 5-tätigen Bilanzphase einmalig oral chromgebeizte Faser und Kobalt-EDTA als Markersubstanzen zur Bestimmung der Passagedauer der partikulären und der flüssigen Ingesta-Anteile verabreicht. Zur Berechnung der mittleren Retentionszeit wurde die Formel von THIELEMANS et al. (1978) verwendet.

Folgende Ergebnisse wurden in den eigenen Untersuchungen erzielt:

1. Mit abnehmender Futtermenge kam es zu einem Anstieg der mittleren Retentionszeit. Dieser verläuft nicht linear, sondern wird umso stärker, je mehr die Futtermenge reduziert wird. Zwischen dem Heu mittlerer Qualität und dem überständigen Heu gab es nur bei der geringsten Futteraufnahme einen signifikanten Unterschied (siehe Tabelle 33).
2. Die scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz und der Rohfaser veränderte sich weder bei Heu F noch bei Heu G in den ersten drei Versuchsabschnitten (ad libitum, 76g TS/kg^{0,75}, 53g TS/kg^{0,75}) signifikant. Erst bei der geringsten Futteraufnahme kam es zu einem drastischen Absinken. Ein Einfluss der Futterzusammensetzung war hingegen nicht eindeutig nachzuweisen (siehe Tabelle 33).

3. Bei Heu F (105g Rp/kg TS) war die scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins in allen Versuchsabschnitten deutlich höher als bei Heu G (58g Rp/kg TS). Die Veränderung der Futtermenge hatte keine Auswirkung auf die scheinbare Verdaulichkeit des Rohproteins (siehe Tabelle 33).
4. Für die scheinbare Verdaulichkeit von Kalzium zeigte sich sowohl ein Zusammenhang mit der Futtermenge als auch mit der Futterzusammensetzung, während bei der scheinbaren Verdaulichkeit von Phosphor nur signifikante Unterschiede bei Reduzierung der Futtermenge, nicht jedoch zwischen den beiden Heuqualitäten zu erkennen waren (siehe Tabelle 33).

Tab. 33: Futteraufnahme in g TS/kg^{0,75}, mittlere Retentionszeit für Partikel (MRT Cr) und Flüssigkeit (MRT Co) in h, scheinbare Verdaulichkeit von organischer Substanz (sV oS), Rohfaser (sV Rfa), Rohprotein (sV Rp), Kalzium (sV Ca) und Magnesium (sV Mg) in %

	MRT Cr h	MRT Co h	sV oS %	sV Rfa %	sV Rp %	sV Ca %	sV P %
Heu F (ad lib.) 93g TS/kg ^{0,75}	23 ± 4,0	21 ± 4,0	47 ± 2,5	35 ± 2,8	62 ± 2,2	69 ± 3,1	19 ± 6,7
Heu F 76g TS/kg ^{0,75}	25 ± 1,5	22 ± 2,2	50 ± 2,8	41 ± 2,6	61 ± 3,8	62 ± 2,9	24 ± 11,5
Heu F 53g TS/kg ^{0,75}	33 ± 5,4	28 ± 4,1	50 ± 1,6	40 ± 2,7	62 ± 2,4	41 ± 6,2	20 ± 11,7
Heu F 30g TS/kg ^{0,75}	38 ± 5,0	31 ± 2,0	35 ± 4,9	11 ± 12,3	58 ± 1,7	8 ± 6,1	-6 ± 3,8
Heu G (ad lib.) 82g TS/kg ^{0,75}	31 ± 4,2	23 ± 3,3	43 ± 3,6	34 ± 5,0	43 ± 2,9	54 ± 9,7	22 ± 7,3
Heu G 76g TS/kg ^{0,75}	31 ± 4,6	20 ± 1,5	43 ± 4,9	37 ± 4,5	40 ± 5,3	54 ± 4,1	14 ± 9,0
Heu G 53g TS/kg ^{0,75}	34 ± 5,8	29 ± 3,9	39 ± 0,7	32 ± 2,6	36 ± 4,1	34 ± 6,2	4 ± 6,4
Heu G 30g TS/kg ^{0,75}	48 ± 3,9	37 ± 3,8	35 ± 1,1	24 ± 4,1	30 ± 3,7	-10 ± 17,0	-9 ± 8,3

Für die praktische Pferdefütterung ist vor allem die Tatsache von Bedeutung, dass es bei geringen Futtermengen zu einem deutlichen Anstieg der mittleren Retentionszeit kommt, insbesondere bei hohem Rohfasergehalt in der Ration.

Dieser Aspekt sollte bei der Zusammenstellung von Rationen für Tiere mit verminderter Futteraufnahme oder reduzierter Futterzuteilung berücksichtigt werden.

6 Summary

Kristina Schiele

Effect of restricted intake of two different hay qualities on digesta passage rate and digestibility in ponies

In the present study the effect of feed intake below maintenance requirement on mean retention time and apparent digestibility was investigated in four adult ponies. In the first trial a medium quality hay (hay M) and in the second trial a late cut hay (hay L) was fed at four levels of dry matter intake as follows: ad libitum, 76g DM/kg BW^{0.75}, 53g DM/kg BW^{0.75} and 30g DM/kg BW^{0.75}. In addition each pony got a single dose of chromium mordanted fibre as particulate marker and Co-EDTA as fluid marker ten hours before the beginning of each collection period. For the calculation of the mean retention time, the equation of THIELEMANS et al. (1978) was used.

The following results were obtained:

1. As dry matter intake was reduced, mean retention time increased. This relationship is not linear. The difference between hay M and hay L was only for the lowest feed intake a significant one (see table 34).
2. The apparent digestibility of organic matter and crude fibre did not change at the first three intake levels (ad libitum, 76g DM/kg BW^{0.75}, 53g DM/kg BW^{0.75}), neither for hay M nor for hay L. Only at the lowest feed intake there was a sudden decrease of apparent digestibility. There was no significant effect of the composition of nutrients on the apparent digestibility of organic matter and crude fibre (see table 34).
3. For hay M (105g CP/kg DM) the digestibility of crude protein was in all trials higher than for hay L (58g CP/kg DM). The changes in dry matter intake had no effect on the apparent digestibility of crude protein (see table 34).

4. The apparent digestibility of calcium was related to feed intake as well as to the composition of nutrients. For phosphorus the apparent digestibility decreased when feed intake was reduced but there was no difference between hay M and hay L (see table 34).

Table 34: Feed intake in g DM/kg BW^{0,75}, mean retention time for particles (MRT Cr) and fluids (MRT Co) in h, apparent digestibility of organic matter (ad OM), crude fibre (ad CF), crude protein (ad CP), calcium (ad Ca) and phosphorus (ad P) in %

	MRT Cr h	MRT Co h	ad OM %	ad CF %	ad CP %	ad Ca %	ad P %
Hay M (ad lib.) 93g DM/kg BW ^{0,75}	23 ± 4,0	21 ± 4,0	47 ± 2,5	35 ± 2,8	62 ± 2,2	69 ± 3,1	19 ± 6,7
Hay M 76g DM/kg BW ^{0,75}	25 ± 1,5	22 ± 2,2	50 ± 2,8	41 ± 2,6	61 ± 3,8	62 ± 2,9	24 ± 11,5
Hay M 53g DM/kg BW ^{0,75}	33 ± 5,4	28 ± 4,1	50 ± 1,6	40 ± 2,7	62 ± 2,4	41 ± 6,2	20 ± 11,7
Hay M 30g DM/kg BW ^{0,75}	38 ± 5,0	31 ± 2,0	35 ± 4,9	11 ± 12,3	58 ± 1,7	8 ± 6,1	-6 ± 3,8
Hay L (ad lib.) 82g DM/kg BW ^{0,75}	31 ± 4,2	23 ± 3,3	43 ± 3,6	34 ± 5,0	43 ± 2,9	54 ± 9,7	22 ± 7,3
Hay L 76g DM/kg BW ^{0,75}	31 ± 4,6	20 ± 1,5	43 ± 4,9	37 ± 4,5	40 ± 5,3	54 ± 4,1	14 ± 9,0
Hay L 53g DM/kg BW ^{0,75}	34 ± 5,8	29 ± 3,9	39 ± 0,7	32 ± 2,6	36 ± 4,1	34 ± 6,2	4 ± 6,4
Hay L 30g DM/kg BW ^{0,75}	48 ± 3,9	37 ± 3,8	35 ± 1,1	24 ± 4,1	30 ± 3,7	-10 ± 17,0	-9 ± 8,3

Regarding practical aspects, the most important result of this study is the fact that reduced feed intake causes a significant increase of mean retention time, especially for food with high crude fibre content.

This aspect should be considered in the composition of rations for animals with reduced voluntary or restricted intake.

7 Literaturverzeichnis

ARCHER M (1973)

The species preferences of grazing horses.

Grass and Forage Science 28:123-128

ATTI N, KAYOULI C, MAHOUACHI M, GUESMI A, DOREAU M (2002)

Effect of a drastic and extended underfeeding on digestion in Barbary ewe.

Animal Feed Science and Technology 100: 1-14

BRÜSSOW NAS (2006)

Effekte verschiedener Futtermittel und –bearbeitungsformen auf die

Futteraufnahmezeit, die Kaufrequenz und die Kauintensität beim Pferd.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

CROZIER JA, ALLEN VG, JACK NE, FONTENOT JP, COCHRAN MA (1997)

Digestibility, apparent mineral absorption, and voluntary intake by horses fed alfalfa, tall fescue and Caucasian bluestem.

Journal of Animal Science 75: 1651-1658

CUDDEFORD D, PEARSON A, ARCHIBALD RF, MUIRHEAD H (1995)

Digestibility and gastro-intestinal transit time of diets containing different proportions of alfalfa and oat straw given to Thoroughbreds, Shetland ponies, Highland ponies and donkeys.

Animal Science 61: 407-417

CYMBALUK NF (1990)

Comparison of forage digestion by cattle and horses.

Canadian Journal of Animal Science 70: 601-610

CYMBALUK NF, SCHRYVER HF, HINTZ HF (1981)

Copper metabolism and requirement in mature ponies.

Journal of Nutrition 111: 87-95

DARLINGTON JM, HERSHBERGER TV (1968)

Effect of forage maturity on digestibility, intake and nutritive value of alfalfa, timothy and orchardgrass by equine.

Journal of Animal Science 27: 1572-1576

DE ARAÚJO OLIVEIRA CA, DE ALMEIDA FQ, VIEIRA AA, LANA AMQ, MACEDO R, LOPES BA, CORASSA A (2003)

Cinética de passage da digesta, balanço hídrico e de nitrogênio em eqüinos consumindo dietas com diferentes proporções de volumoso e concentrado.

Revista Brasileira de Zootecnia 32: 140-149

DOREAU M, DIAWARA A (2003)

Effect of level of intake on digestion in cows: influence of animal genotype and nature of hay.

Livestock Production Science 81: 33-45

DOREAU M, MICHALET-DOREAU B, GRIMAUD P, ATTI N, NOZIÈRE P (2003)

Consequences of underfeeding on digestion and absorption in sheep.

Small Ruminant Research 49: 289-301

DOREAU M, MICHALET-DOREAU B, BÉCHET G (2004)

Effect of underfeeding on digestion in cows. Interaction with rumen degradable N supply.

Livestock Production Sciences 88: 33-41

DROGOUL C, PONCET C, TISSERAND JL (2000)

Feeding ground and pelleted hay rather than chopped hay to ponies:

1. Consequences for in vivo digestibility and rate of passage of digesta.

Animal Feed Science and Technology 87: 117-130

DROGOUL C, DE FOMBELLE A, JUILLAND V (2001)

Feeding and microbial disorders in horses:

2: Effect of three hay grain ratios on digesta passage rate and digestibility in ponies.

Journal of Equine Veterinary Science 21: 487-491

DUNCAN P, FOOSE TJ, GORDON IJ, GAKAHU CG, LLOYD M (1990)

Comparative nutrient extraction from forages by grazing bovids and equids: a test of the nutritional model of equid/bovid competition and coexistence.

Oecologia 84: 411-418

FEHRLE S (1980)

Untersuchungen zur Verdaulichkeit von Mischfutter beim Pferd in Abhängigkeit von der Rauhfutteraufnahme.

Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München

FONNESBECK PV, LYDMAN RK, VANDER NOOT GW, SYMONS LD (1967)

Digestibility of the proximate nutrients of forage by horses.

Journal of Animal Science 26: 1039-1045

GEOR RJ (2005)

Nutritional considerations for the colic patient.

In: Proceedings of the AAEP Focus Meeting

GESELLSCHAFT FÜR ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE (1994)

Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Pferde.

DLG-Verlag, Frankfurt

GRIMAUD P, RICHARD D, KANWÉ A, DURIER C, DOREAU M (1998)

Effect of undernutrition and refeeding on digestion in *Bos Taurus* and *Bos indicus* in a tropical environment.

Animal Science 67: 49-58

GÜLDENHAUPT V (1979)

Verträglichkeit und Verdaulichkeit eines Alleinfutters für Pferde in Kombination mit Stroh.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

GÜNTHER C (1984)

Untersuchungen über die Verdaulichkeit und Verträglichkeit von Hafer, Quetschhafer, Gerste und Mais beim Pferd.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

HAENLEIN GFW, HOLDREN RD, YOON YM (1966)

Comparative response of horses and sheep to different physical forms of alfalfa hay.

Journal of Animal Science 25: 740-743

HARBERS LH, MCNALLY LK, SMITH WH (1981)

Digestibility of three grass hays by the horse and scanning electron microscopy of undigested leaf remnants.

Journal of Animal Science 53: 1671-1677

HAVERKAMP L (1988)

Untersuchungen zum endogenen renalen und faecalen N-Verlust des Pferdes.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

HINTZ HF, LOY RG (1966)

Effects of pelleting on the nutritive value of horse rations.

Journal of Animal Science 25: 1059-1062

HINTZ HF, SCHRYVER HF (1973)

Magnesium, calcium, and phosphorus metabolism in ponies fed varying levels of magnesium.

Journal of Animal Science 37: 927-930

HINTZ HF, SCHRYVER HF (1976)

Potassium metabolism in ponies.

Journal of Animal Science 42: 637-643

HOLLAND JL, KRONFELD DS, SKLAN D, HARRIS PA (1998)

Calculation of fecal kinetics in horses fed hay or hay and concentrate.

Journal of Animal Science 76: 1937-1944

IZRAELY H, CHOSHNIAK I, STEVENS CE, DEMMENT MW, SHKOLNIK A (1989)

Factors determining the digestive efficiency of the domesticated donkey (*Equus asinus asinus*).

Quarterly Journal of Experimental Physiology 74: 1-6

JANIS C (1976)

The evolutionary strategy of the equidae and the origins of rumen and cecal digestion.

Evolution 30: 757-774

KAMPHUES J, COENEN M, KIENZLE E, PALLAUF J, SIMON O, ZENTEK J (2004)

Supplemente zu Vorlesungen und Übungen in der Tierernährung.

Schaper, Ahlfeld-Hannover

KENNEDY LG, HERSHBERGER TV (1974)

Protein quality for the nonruminant herbivore.

Journal of Animal Science 39: 506-511

KIENZLE E, SCHRAMME SC (2004)

Beurteilung des Ernährungszustandes mittels Body Condition Scores und Gewichtsschätzung beim adulten Warmblutpferd.

Pferdeheilkunde 20: 517-524

KRULL HD (1984)

Untersuchungen über die Aufnahme und Verdaulichkeit von Grünfutter beim Pferd.

Diss. rer. nat., Universität Hohenheim

KUNTZ R, KUBALEK C; RUF T, TATARUCH F, ARNOLD W (2006)

Seasonal adjustment of energy budget in a large wild mammal, the Przewalski horse (*Equus ferus przewalski*):

I. Energy Intake

The Journal of Experimental Biology 209: 4557-4565

LACASHA PA, BRADY HA, ALLEN VG, RICHARDSON CR, POND KR (1999)

Voluntary intake, digestibility, and subsequent selection of Matua bromegrass, coastal bermudagrass, and alfalfa hays by yearling horses.

Journal of Animal Science 7:2766-2773

LAWRENCE L (2005)

Minerals in equine nutrition science and application.

2005 Nutrition Conference, Tennessee

LESTER GD, BOLTON JR, CULEN LK (1992)

Effects of general anesthesia on myoelectric activity of the intestine in horses.

American Journal of Veterinary Research 53: 1553-1557

LINDEMANN G (1982)

Untersuchungen über den Einfluss von Lactose- und Stärkezulagen auf die Verdaulichkeit von NH_3 -aufgeschlossenem Stroh beim Pferd.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

MEYER H (1980)

Na-Stoffwechsel und Na-Bedarf des Pferdes.

Übersichten zur Tierernährung 8:37-64

MEYER H (1984)

Intestinaler N-Stoffwechsel, endogener N-Verlust und N-Bedarf ausgewachsener Pferde.

Übersichten zur Tierernährung 12: 251-271

MEYER H, AHLWEDE L, REINHARDT HJ (1975)

Untersuchungen über Fressdauer, Kaufrequenz und Futterzerkleinerung beim Pferd.

Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 82: 54-59

MEYER H, COENEN M, PROBST D (1986)

Futtereinspeichelung und -passage im Kopfdarm des Pferdes.

Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 56: 171-183

MEYER H, STADERMANN G (1990)

Möglichkeiten zur Bestimmung der Mineralstoffversorgung des Pferdes durch Harnanalysen

Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung 21: 86-97

MICHALET-DOREAU B, DOREAU M (2001)

Influence of drastic underfeeding on ruminal digestion in sheep.

Animal Research 50: 451-462

MOORE-COLYER MJS, LONGLAND AC (2000)

Intakes and *in vivo* apparent digestibilities of four types of conserved grass forage by ponies.

Animal Science 71: 527-534

MOORE-COLYER MJS, MORROW HJ, LONGLAND AC (2003)

Mathematical modeling of digesta passage rate, mean retention time and *in vivo* apparent digestibility of two different lengths of hay and big-bale grass silage in ponies.

British Journal of Nutrition 90: 109-118

NOZIÈRE P, RÈMOND D, BERNARD L, DOREAU M (2000)

Effect of underfeeding on metabolism of portal-drained viscera in ewes.

British Journal of Nutrition 84: 821-828

ORDAKOWSKI-BURK AL, QUINN RW, SHELLEM TA, VOUGH LR (2006)

Voluntary intake and digestibility of reed canarygrass and timothy hay fed to horses.

Journal of Animal Science 84: 3104-3109

ORTON RK, HUME ID, LENG RA (1985)

Effects of exercise level of dietary protein on digestive function in horses.

Equine Veterinary Journal 17: 386-390

PAGAN JD, HARRIS P, BREWSTER-BARNES T, DUREN SE, JACKSON SG (1998)

Exercise affects digestibility and rate of passage of all-forage and mixed diets in Thoroughbred horses.

Journal of Nutrition 128: 2704S-2707S

PEARSON RA, ARCHIBALD RF, MUIRHEAD RH (2001)

The effect of forage quality and level of feeding in digestibility and gastrointestinal transit time of oat straw and alfalfa given to ponies and donkeys.

British Journal of Nutrition 85: 599-606

PEARSON RA, ARCHIBALD RF, MUIRHEAD RH (2006)

A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys.

British Journal of Nutrition 95: 88-98

PEIRETTI PG, MEINER G, MIRAGLIA N, MUCCIARELLI M, BERGERO D (2006)

Intake and apparent digestibility of hay or hay plus concentrate diets determined in horses by the total collection of feces and *n*-alkanes as internal markers.

Livestock Science 100: 189-194

POPPI DP, NORTON BW, MINSON DJ, HENDRICKSEN RE (1980)

The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen.

Journal of Agricultural Science 94: 275-280

RALSTON SL (1984)

Controls of feeding in horses.

Journal of Animal Science 59: 1354-1361

RALSTON SL (2002)

Nutritional support after alimentary tract surgery.

In: MAIR T, DIVERS T, DUCHARME N (Hrsg.) Manual of Equine Gastroenterology
WB Saunders, Philadelphia, London, Toronto, S. 196-198

ROBBINS CT (1993)

Wildlife feeding and nutrition.

Academic Press, San Diego

SCHMIDT M (1980)

Untersuchungen über die Verträglichkeit und Verdaulichkeit eines pelletierten Mischfutters für Pferde in Kombination mit Heu und NH₃-aufgeschlossenem Stroh.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

SCHRYVER HF, CRAIG PH, HINTZ HF (1970)

Calcium metabolism in ponies fed varying levels of calcium.

Journal of Nutrition 100: 955-964

SCHRYVER HF, HINTZ HF, CRAIG PH (1971)

Calcium metabolism in ponies fed a high phosphorus diet.

Journal of Nutrition 101:259-264

SCHRYVER HF, HINTZ HF, LOWE JE (1980)

Absorption, excretion and tissue distribution of stable zinc and ⁶⁵zinc in ponies.

Journal of Animal Science 51: 896-902

SPONHEIMER M, ROBINSON T, ROEDER B, HAMMER J, AYLIFFE L, PASSEY B, CERLING T, DEARING D, EHLENGER J (2003)

Digestion and passage rates of grass hays by llamas, alpacas, goats, rabbits and horses.

Small Ruminant Research 48: 149-154

STÜRMER K (2005)

Untersuchungen zum Einfluss der Fütterung auf den Säure-Basen-Haushalt bei Ponies.

Diss. med. vet., Ludwig-Maximilians-Universität München

SUHARTANTO B, JULLIAND V, FAURIE F, TISSERAND JL (1992)

Comparison of microbial activity in the cecum of ponies and donkeys.

Europäische Konferenz über die Ernährung des Pferdes 1: 158-161

THIELEMANS MF, FRANÇOIS E, BODART C; THEWIS A (1978)

Mesure du transit gastrointestinal chez le porc à l'aide de radiolanthanides.

Comparison avec le mouton.

Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique 18: 237-247

UDÉN P, COLUCCI PE; VAN SOEST PJ (1980)

Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta rate of passage studies.

Journal of the Science of Food and Agriculture 31: 625-632

UDÉN P, VAN SOEST PJ (1982)

Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits.

British Journal of Nutrition 47: 267-272

VANDER NOOT GW, GILBREATH EB (1970)

Comparative digestibility of components of forages by geldings and steers.

Journal of Animal Science 31: 351-355

VAN SOEST (1967)

Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages.

Journal of Animal Science 26: 119-125

VERTHEIN B (1981)

Auswirkungen einer Enzymgabe auf die Futterverdaulichkeit beim Pferd.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

VOM STEIN S (1985)

Untersuchungen über die faecale und renale N-Abgabe beim Pferd nach Fütterung N-armer Rationen.

Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover

VON ENGELHARDT W (2004)

Vergleichende Aspekte der Vormagen- und Dickdarmverdauung.

In: VON ENGELHARDT W; BREVES G (Hrsg.) Physiologie der Haustiere
Enke, Stuttgart, S. 402-405

ZEYNER A, HOFFMANN M, FUCHS R (1992)

Möglichkeiten zur Schätzung des Energiegehaltes in Rationen zur Sportpferdefütterung.

Europäische Konferenz über die Ernährung des Pferdes 1: 175-178

ZEYNER A, KIENZLE E (2002)

A method to estimate digestible energy in horse feed.

Journal of Nutrition 132: 1771S-1773S

8 Tabellenanhang

Tab. I: Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und g TS/kg^{0,75} für „Bukra“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	g Heu/Tag	FA g TS/Tag	g TS/kg ^{0,75}
Heu F ad lib.	381	86	9658	8470	98
Heu F 76g TS	378	86	7500	6578	77
Heu F 53g TS	366	84	5200	4560	54
Heu F 30g TS	351	81	2900	2543	31
Heu G ad lib.	376	85	8758	7716	90
Heu G 76g TS	374	85	7400	6519	77
Heu G 53g TS	358	82	5200	4581	56
Heu G 30g TS	344	80	2800	2467	31

Tab. II: Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und g TS/kg^{0,75} für „Sissi“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	g Heu/Tag	FA g TS/Tag	g TS/kg ^{0,75}
Heu F ad lib.	273	67	6509	5709	85
Heu F 76g TS	269	66	5800	5087	77
Heu F 53g TS	266	66	4000	3508	53
Heu F 30g TS	257	64	2200	1929	30
Heu G ad lib.	266	66	5940	5233	79
Heu G 76g TS	262	65	5700	5022	77
Heu G 53g TS	255	64	3900	3436	54
Heu G 30g TS	250	63	2200	1938	31

Tab. III: Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und g TS/kg für „Gharib“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	g Heu/Tag	FA g TS/Tag	g TS/kg ^{0,75}
Heu F ad lib.	228	59	6809	5972	102
Heu F 76g TS	223	58	5100	4473	78
Heu F 53g TS	219	57	3500	3070	54
Heu F 30g TS	210	55	1900	1666	30
Heu G ad lib.	228	59	5623	4953	84
Heu G 76g TS	227	58	5100	4493	77
Heu G 53g TS	220	57	3500	3084	54
Heu G 30g TS	208	55	1900	1674	31

Tab. IV: Futteraufnahme in g Heu/Tag, g TS/Tag und g TS/kg für „Tarabas“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	g Heu/Tag	FA g TS/Tag	g TS/kg ^{0,75}
Heu F ad lib.	270	67	6727	5900	89
Heu F 76g TS	267	66	5800	5087	77
Heu F 53g TS	266	66	4000	3508	53
Heu F 30g TS	254	64	2200	1929	30
Heu G ad lib.	265	66	5470	4819	73
Heu G 76g TS	268	66	5700	5022	76
Heu G 53g TS	260	65	4000	3524	55
Heu G 30g TS	253	63	2200	1938	31

Tab. V: Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score für „Bukra“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	BCS
Heu F ad lib.	381	86	9
Heu F 76g TS	378	86	8
Heu F 53g TS	366	84	8
Heu F 30g TS	351	81	7
Heu G ad lib.	376	85	8
Heu G 76g TS	374	85	8
Heu G 53g TS	358	82	7
Heu G 30g TS	344	80	7

Tab. VI: Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score für „Sissi“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	BCS
Heu F ad lib.	273	67	6
Heu F 76g TS	269	66	6
Heu F 53g TS	266	66	5
Heu F 30g TS	257	64	5
Heu G ad lib.	266	66	6
Heu G 76g TS	262	65	5
Heu G 53g TS	255	64	5
Heu G 30g TS	250	63	5

Tab. VII: Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score für „Gharib“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	BCS
Heu F ad lib.	228	59	7
Heu F 76g TS	223	58	6
Heu F 53g TS	219	57	6
Heu F 30g TS	210	55	5
Heu G ad lib.	228	59	6
Heu G 76g TS	227	58	6
Heu G 53g TS	220	57	5
Heu G 30g TS	208	55	5

Tab. VIII: Körpergewicht, metabolisches Körpergewicht und Body Condition Score für „Tarabas“

Versuch	KM kg	KM ^{0,75} kg	BCS
Heu F ad lib.	270	67	8
Heu F 76g TS	267	66	7
Heu F 53g TS	266	66	7
Heu F 30g TS	254	64	6
Heu G ad lib.	265	66	7
Heu G 76g TS	268	66	6
Heu G 53g TS	260	65	6
Heu G 30g TS	253	63	5

Tab. IX: Mittlere Retentionszeit in h für Chrom- und Kobaltmarker für „Bukra“

Versuch	MRT Cr h	MRT Co h	SF
Heu F ad lib.	27	25	1,1
Heu F 76g TS	27	23	1,2
Heu F 53g TS	38	26	1,5
Heu F 30g TS	33	30	1,1
Heu G ad lib.	31	26	1,2
Heu G 76g TS	27	21	1,3
Heu G 53g TS	31	27	1,1
Heu G 30g TS	43	34	1,3

Tab. X: Mittlere Retentionszeit in h für Chrom- und Kobaltmarker für „Sissi“

Versuch	MRT Cr h	MRT Co h	SF
Heu F ad lib.	25	19	1,3
Heu F 76g TS	25	24	1,1
Heu F 53g TS	37	34	1,1
Heu F 30g TS	43	34	1,3
Heu G ad lib.	36	24	1,5
Heu G 76g TS	37	21	1,7
Heu G 53g TS	41	34	1,2
Heu G 30g TS	51	38	1,3

Tab. XI: Mittlere Retentionszeit in h für Chrom- und Kobaltmarker für „Gharib“

Versuch	MRT Cr h	MRT Co h	SF
Heu F ad lib.	18	16	1,1
Heu F 76g TS	24	20	1,2
Heu F 53g TS	26	25	1,1
Heu F 30g TS	35	29	1,2
Heu G ad lib.	32	22	1,4
Heu G 76g TS	33	18	1,8
Heu G 53g TS	28	27	1,0
Heu G 30g TS	47	35	1,4

Tab. XII: Mittlere Retentionszeit in h für Chrom- und Kobaltmarker für „Tarabas“

Versuch	MRT Cr h	MRT Co h	SF
Heu F ad lib.	22	23	1,0
Heu F 76g TS	23	19	1,2
Heu F 53g TS	33	28	1,2
Heu F 30g TS	42	32	1,3
Heu G ad lib.	26	18	1,4
Heu G 76g TS	27	21	1,3
Heu G 53g TS	36	26	1,4
Heu G 30g TS	51	42	1,2

Tab. XIII: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung für „Bukra“

	Chrom		Kobalt	
	Beginn h	Ende h	Beginn h	Ende h
Heu F ad lib.	12	48	14	40
Heu F 76g TS	10	48	10	39
Heu F 53g TS	14	85	11	56
Heu F 30g TS	13	64	12	74
Heu G ad lib.	12	52	12	49
Heu G 76g TS	12	54	12	49
Heu G 53g TS	13	53	13	53
Heu G 30g TS	22	91	13	76

Tab. XIV: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung für „Sissi“

	Chrom		Kobalt	
	Beginn h	Ende h	Beginn h	Ende h
Heu F ad lib.	11	57	9	47
Heu F 76g TS	14	47	10	56
Heu F 53g TS	18	67	18	78
Heu F 30g TS	20	111	9	85
Heu G ad lib.	12	91	9	68
Heu G 76g TS	14	79	12	46
Heu G 53g TS	13	88	16	74
Heu G 30g TS	20	131	13	100

Tab. XV: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung für „Gharib“

	Chrom		Kobalt	
	Beginn h	Ende h	Beginn h	Ende h
Heu F ad lib.	10	38	8	30
Heu F 76g TS	12	52	12	44
Heu F 53g TS	13	53	13	55
Heu F 30g TS	20	67	13	67
Heu G ad lib.	10	54	8	43
Heu G 76g TS	12	63	8	40
Heu G 53g TS	13	57	13	59
Heu G 30g TS	19	131	16	103

Tab. XVI: Beginn und Ende der Markerausscheidung in Stunden ab Zeitpunkt der Markerfütterung für „Tarabas“

	Chrom		Kobalt	
	Beginn h	Ende h	Beginn h	Ende h
Heu F ad lib.	12	43	12	49
Heu F 76g TS	12	52	12	52
Heu F 53g TS	18	88	15	57
Heu F 30g TS	18	94	14	85
Heu G ad lib.	10	59	8	48
Heu G 76g TS	11	56	8	46
Heu G 53g TS	10	69	10	59
Heu G 30g TS	23	121	14	116

Tab. XVII: Pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes für „Bukra“

	Kot g uS/Tag	TS %	Kot g TS/Tag
Heu F ad lib.	27007	16	4375
Heu F 76g TS	20536	16	3347
Heu F 53g TS	14543	17	2400
Heu F 30g TS	10829	16	1765
Heu G ad lib.	20788	21	4282
Heu G 76g TS	19338	21	3984
Heu G 53g TS	14633	22	3146
Heu G 30g TS	8462	20	1675

Tab. XVIII: Pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes für „Sissi“

	Kot g uS/Tag	TS %	Kot g TS/Tag
Heu F ad lib.	16449	19	3125
Heu F 76g TS	12276	19	2345
Heu F 53g TS	8081	21	1705
Heu F 30g TS	6269	22	1360
Heu G ad lib.	11972	23	2718
Heu G 76g TS	10753	23	2505
Heu G 53g TS	8604	25	2125
Heu G 30g TS	5487	24	1306

Tab. XIX: Pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes für „Gharib“

	Kot g uS/Tag	TS %	Kot g TS/Tag
Heu F ad lib.	15095	20	2944
Heu F 76g TS	12562	18	2223
Heu F 53g TS	7642	21	1582
Heu F 30g TS	4541	23	1058
Heu G ad lib.	11709	23	2740
Heu G 76g TS	11344	23	2632
Heu G 53g TS	8082	24	1932
Heu G 30g TS	4161	27	1103

Tab. XX: Pro Tag abgesetzte Kotmengen und TS-Gehalt des Kotes für „Tarabas“

	Kot g uS/Tag	TS %	Kot g TS/Tag
Heu F ad lib.	17860	18	3179
Heu F 76g TS	15868	17	2698
Heu F 53g TS	8773	20	1781
Heu F 30g TS	5888	20	1178
Heu G ad lib.	14538	20	2922
Heu G 76g TS	14914	20	2983
Heu G 53g TS	9768	22	2159
Heu G 30g TS	5057	25	1274

Tab. XXI: Scheinbare Verdaulichkeit von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnnährstoffen, säureunlöslicher Asche und Bruttoenergie für „Bukra“

Versuch	TS (%)	oS (%)	Ra (%)	AIA (%)	Rp (%)	Rfe (%)	Rfa (%)	Nfe (%)	GE (%)
Heu F ad lib.	48	48	53	36	65	21	36	53	45
Heu F 76g TS	49	49	44	25	60	7	39	55	46
Heu F 53g TS	47	48	32	-13	60	0	38	54	44
Heu F 30g TS	31	32	14	12	56	-17	5	45	28
Heu G ad lib.	44	44	37	18	44	6	37	49	41
Heu G 76g TS	39	40	24	-5	37	2	33	45	36
Heu G 53g TS	37	38	18	-34	42	0	30	44	35
Heu G 30g TS	32	34	-7	-61	34	12	22	42	31

Tab. XXII: Scheinbare Verdaulichkeit von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnnährstoffen, säureunlöslicher Asche und Bruttoenergie für „Sissi“

Versuch	TS (%)	oS (%)	Ra (%)	AIA (%)	Rp (%)	Rfe (%)	Rfa (%)	Nfe (%)	GE (%)
Heu F ad lib.	45	45	53	44	63	14	32	50	42
Heu F 76g TS	54	54	55	34	66	15	44	58	51
Heu F 53g TS	51	52	44	12	64	5	43	56	49
Heu F 30g TS	29	30	28	1	59	-19	-2	44	28
Heu G ad lib.	47	47	34	16	40	19	39	54	45
Heu G 76g TS	50	51	41	15	47	28	44	56	48
Heu G 53g TS	38	39	25	-27	35	6	31	45	36
Heu G 30g TS	33	34	1	-53	32	17	19	45	31

Tab. XXIII: Scheinbare Verdaulichkeit von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnährstoffen, säureunlöslicher Asche und Bruttoenergie für „Gharib“

Versuch	TS (%)	oS (%)	Ra (%)	AIA (%)	Rp (%)	Rfe (%)	Rfa (%)	Nfe (%)	GE (%)
Heu F ad lib.	51	50	57	39	63	29	39	55	48
Heu F 76g TS	50	50	54	27	61	7	40	55	47
Heu F 53g TS	48	49	44	7	64	0	39	53	45
Heu F 30g TS	37	37	24	-26	59	-21	18	47	33
Heu G ad lib.	40	41	25	-4	43	3	29	48	39
Heu G 76g TS	41	42	32	-11	39	-1	36	47	39
Heu G 53g TS	37	38	26	-29	37	-9	32	43	35
Heu G 30g TS	34	35	11	-39	30	10	28	41	32

Tab. XXIV: Scheinbare Verdaulichkeit von Trockensubstanz, organischer Substanz, Rohnährstoffen, säureunlöslicher Asche und Bruttoenergie für „Tarabas“

Versuch	TS (%)	oS (%)	Ra (%)	AIA (%)	Rp (%)	Rfe (%)	Rfa (%)	Nfe (%)	GE (%)
Heu F ad lib.	46	46	54	28	59	17	35	50	43
Heu F 76g TS	47	47	45	4	57	-4	39	52	45
Heu F 53g TS	49	50	42	1	60	8	42	53	46
Heu F 30g TS	39	40	21	-32	56	-6	25	48	36
Heu G ad lib.	38	38	29	3	41	7	28	46	36
Heu G 76g TS	41	41	30	-11	35	6	37	45	38
Heu G 53g TS	39	39	23	-28	32	-4	36	44	35
Heu G 30g TS	34	36	-7	-67	25	13	27	44	33

Tab. XXV: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen für „Bukra“

Versuch	NDF %	ADF %	ADL %	HC %	C %
Heu F ad lib.	42	36	24	48	41
Heu F 76g TS	46	41	41	51	42
Heu F 53g TS	44	39	13	51	50
Heu F 30g TS	25	8	-34	45	26
Heu G ad lib.	37	34	22	41	40
Heu G 76g TS	33	29	24	38	32
Heu G 53g TS	30	26	19	37	29
Heu G 30g TS	25	16	7	35	20

Tab. XXVI: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen für „Sissi“

Versuch	NDF %	ADF %	ADL %	HC %	C %
Heu F ad lib.	40	34	58	46	24
Heu F 76g TS	50	45	65	56	37
Heu F 53g TS	50	45	61	56	38
Heu F 30g TS	23	2	1	47	3
Heu G ad lib.	42	37	59	48	26
Heu G 76g TS	47	43	61	51	35
Heu G 53g TS	35	30	55	41	19
Heu G 30g TS	28	18	43	41	7

Tab. XXVII: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen für „Gharib“

Versuch	NDF %	ADF %	ADL %	HC %	C %
Heu F ad lib.	46	40	61	52	31
Heu F 76g TS	46	41	62	53	31
Heu F 53g TS	46	39	57	53	32
Heu F 30g TS	32	19	18	47	19
Heu G ad lib.	34	27	52	42	15
Heu G 76g TS	37	33	49	41	26
Heu G 53g TS	32	27	41	37	20
Heu G 30g TS	28	21	39	37	13

Tab. XXVIII: Scheinbare Verdaulichkeit der Gerüstsubstanzen für „Tarabas“

Versuch	NDF %	ADF %	ADL %	HC %	C %
Heu F ad lib.	42	36	64	49	24
Heu F 76g TS	44	39	64	50	28
Heu F 53g TS	48	41	56	55	35
Heu F 30g TS	38	26	39	52	20
Heu G ad lib.	32	25	61	40	7
Heu G 76g TS	36	32	56	41	21
Heu G 53g TS	36	32	55	41	21
Heu G 30g TS	31	23	44	42	14

Tab. XXIX: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe für „Bukra“

Versuch	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %
Heu F ad lib.	74	28	58	53	60	19	19
Heu F 76g TS	63	19	59	44	47	9	4
Heu F 53g TS	44	15	62	29	17	-16	-18
Heu F 30g TS	7	-1	53	20	-40	-28	-104
Heu G ad lib.	67	28	52	42	41	11	5
Heu G 76g TS	55	12	44	34	34	14	-4
Heu G 53g TS	35	10	50	28	18	11	-16
Heu G 30g TS	-12	-19	55	5	-74	-2	-85

Tab. XXX: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe für „Sissi“

Versuch	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %
Heu F ad lib.	69	16	65	42	57	8	24
Heu F 76g TS	61	41	73	42	59	13	18
Heu F 53g TS	33	37	72	29	43	-8	-8
Heu F 30g TS	9	-6	66	22	29	-23	-45
Heu G ad lib.	56	29	61	27	49	12	0
Heu G 76g TS	58	26	60	40	50	25	21
Heu G 53g TS	29	6	57	21	33	5	-13
Heu G 30g TS	-14	-2	63	-2	-4	-8	-79

Tab. XXXI: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe für „Gharib“

Versuch	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %
Heu F ad lib.	68	21	69	48	58	11	21
Heu F 76g TS	64	24	72	46	50	7	15
Heu F 53g TS	47	15	73	38	41	-6	-11
Heu F 30g TS	15	-10	66	27	27	-25	-74
Heu G ad lib.	45	16	61	35	33	13	-2
Heu G 76g TS	48	11	56	39	39	15	-2
Heu G 53g TS	43	6	57	39	18	9	-11
Heu G 30g TS	13	-13	62	22	-35	-3	-66

Tab. XXXII: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe für „Tarabas“

Versuch	Ca %	P %	K %	Mg %	Na %	Cu %	Zn %
Heu F ad lib.	67	13	63	41	48	1	10
Heu F 76g TS	58	15	68	38	47	1	0
Heu F 53g TS	40	11	73	30	56	-13	-17
Heu F 30g TS	0	-6	68	14	27	-24	-65
Heu G ad lib.	49	16	56	30	47	4	7
Heu G 76g TS	53	5	51	17	49	6	-37
Heu G 53g TS	30	-5	56	17	33	1	-48
Heu G 30g TS	-28	-3	67	24	-13	-1	-21

Tab. XXXIII: Wasserbilanz in mg/kg KM/Tag für „Bukra“

	KM kg	Aufnahme (ml/kg KM/Tag)			Ausscheidung (ml/kg KM/Tag)			Bilanz	
		Futter	Tränke	gesamt	Kot	Urin	gesamt	absolut	%
Heu F ad lib.	381	3	98	101	59	17	77	25	24,4
Heu F 76g TS	378	2	88	90	46	35	81	9	10,1
Heu F 53g TS	366	2	58	60	34	24	58	2	2,8
Heu F 30g TS	351	1	56	57	27	31	57	0	0,3
Heu G ad lib.	376	3	58	61	44	11	55	6	9,4
Heu G 76g TS	374	2	70	72	41	25	66	6	7,9
Heu G 53g TS	358	2	60	62	30	39	69	-7	-10,8
Heu G 30g TS	344	1	81	82	20	59	80	2	2,4

Tab. XXXIV: Wasserbilanz in mg/kg KM/Tag für „Sissi“

	KM kg	Aufnahme (ml/kg KM/Tag)			Ausscheidung (ml/kg KM/Tag)			Bilanz	
		Futter	Tränke	gesamt	Kot	Urin	gesamt	absolut	%
Heu F ad lib.	273	3	84	87	48	19	67	20	23,1
Heu F 76g TS	269	3	58	60	37	16	53	7	11,7
Heu F 53g TS	266	2	36	38	24	14	38	0	0,3
Heu F 30g TS	257	1	32	33	19	10	29	4	11,7
Heu G ad lib.	266	3	48	51	37	7	44	8	14,6
Heu G 76g TS	262	3	44	47	31	7	39	8	17,4
Heu G 53g TS	255	2	33	35	25	7	32	3	8,1
Heu G 30g TS	250	1	38	39	15	10	25	14	35,4

Tab. XXXV: Wasserbilanz in mg/kg KM/Tag für „Gharib“

	KM kg	Aufnahme (ml/kg KM/Tag)			Ausscheidung (ml/kg KM/Tag)			Bilanz	
		Futter	Tränke	gesamt	Kot	Urin	gesamt	absolut	%
Heu F ad lib.	228	3	101	104	54	19	73	32	30,5
Heu F 76g TS	223	3	66	69	46	18	65	4	6,2
Heu F 53g TS	219	2	50	52	28	16	43	8	16,0
Heu F 30g TS	210	1	34	35	17	14	31	4	12,3
Heu G ad lib.	228	4	61	65	40	10	50	15	23,7
Heu G 76g TS	227	3	58	60	38	8	47	14	22,5
Heu G 53g TS	220	2	41	43	28	11	39	4	8,7
Heu G 30g TS	208	1	42	43	14	16	30	13	30,5

Tab. XXXVI: Wasserbilanz in mg/kg KM/Tag für „Tarabas“

	KM kg	Aufnahme (ml/kg KM/Tag)			Ausscheidung (ml/kg KM/Tag)			Bilanz	
		Futter	Tränke	gesamt	Kot	Urin	gesamt	absolut	%
Heu F ad lib.	270	3	83	86	55	19	74	13	14,5
Heu F 76g TS	267	3	67	69	50	24	74	-5	-6,5
Heu F 53g TS	266	2	47	49	26	18	45	4	7,8
Heu F 30g TS	254	1	44	45	19	21	39	5	12,1
Heu G ad lib.	265	3	52	55	44	9	54	1	1,7
Heu G 76g TS	268	3	54	57	45	7	52	5	8,5
Heu G 53g TS	260	2	49	51	29	11	40	11	21,2
Heu G 30g TS	253	1	36	37	15	18	33	4	10,5

Tab. XXXVII: Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins;
Kalzium-Kreatinin-Quotient für „Bukra“

	Na g/kg	K g/kg	Ca g/kg	P g/kg	Creatinin g/kg	Ca/Crea- Quotient
Heu F ad lib.	0,3	10,8	6,0	0,03	1,5	4,0
Heu F 76g TS	0,0	4,4	2,0	0,01	0,7	2,8
Heu F 53g TS	0,0	3,5	1,9	0,00	0,7	2,6
Heu F 30g TS	0,0	1,9	1,5	0,01	0,7	2,2
Heu G ad lib.	0,4	8,8	10,6	0,05	2,9	3,7
Heu G 76g TS	0,0	3,6	2,0	0,01	0,9	2,2
Heu G 53g TS	0,0	2,6	1,4	0,00	0,5	3,1
Heu G 30g TS	0,1	0,9	0,5	0,00	0,3	2,1

Tab. XXXVIII: Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins;
Kalzium-Kreatinin-Quotient für „Sissi“

	Na g/kg	K g/kg	Ca g/kg	P g/kg	Creatinin g/kg	Ca/Crea- Quotient
Heu F ad lib.	0,1	13,1	7,2	0,02	1,3	5,3
Heu F 76g TS	0,1	11,5	4,2	0,04	1,7	2,5
Heu F 53g TS	0,3	10,9	3,5	0,03	1,9	1,8
Heu F 30g TS	0,1	6,8	2,7	0,03	2,7	1,0
Heu G ad lib.	0,1	16,9	10,2	0,07	3,9	2,6
Heu G 76g TS	0,1	18,0	8,1	0,06	3,4	2,3
Heu G 53g TS	0,1	14,1	6,6	0,06	3,9	1,7
Heu G 30g TS	0,2	9,4	2,7	0,03	3,9	0,7

Tab. XXXIX: Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins;
Kalzium-Kreatinin-Quotient für „Gharib“

	Na g/kg	K g/kg	Ca g/kg	P g/kg	Creatinin g/kg	Ca/Crea- Quotient
Heu F ad lib.	0,0	14,3	6,4	0,03	1,3	4,8
Heu F 76g TS	0,1	10,5	4,8	0,02	1,4	3,4
Heu F 53g TS	0,1	9,1	3,8	0,02	1,6	2,3
Heu F 30g TS	0,1	5,5	2,3	0,02	2,0	1,2
Heu G ad lib.	0,1	17,1	7,9	0,06	3,0	2,6
Heu G 76g TS	0,1	16,1	10,2	0,07	3,8	2,7
Heu G 53g TS	0,1	8,1	3,1	0,02	1,7	1,8
Heu G 30g TS	0,0	3,6	1,4	0,01	1,3	1,1

Tab. XXXX: Natrium-, Kalium-, Kalzium-, Phosphor- und Kreatiningehalt des Urins;
Kalzium-Kreatinin-Quotient für „Tarabas“

	Na g/kg	K g/kg	Ca g/kg	P g/kg	Creatinin g/kg	Ca/Crea- Quotient
Heu F ad lib.	0,1	12,6	4,5	0,02	1,1	4,2
Heu F 76g TS	0,1	7,9	2,8	0,01	0,8	3,4
Heu F 53g TS	0,4	7,1	2,6	0,01	1,1	2,4
Heu F 30g TS	0,3	3,1	1,0	0,00	0,9	1,1
Heu G ad lib.	0,1	15,8	9,6	0,04	2,9	3,3
Heu G 76g TS	0,1	14,8	12,2	0,05	3,2	3,8
Heu G 53g TS	0,1	11,9	4,9	0,03	2,5	2,0
Heu G 30g TS	0,3	3,9	1,5	0,01	1,3	1,1

Tab. XXXXI: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Bukra“

	Natrium				Kalium			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM		mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM	
Heu F ad lib.	22,6	9,1	0,7	12,9	87,8	36,6	131,5	-80,3
Heu F 76g TS	17,7	9,3	1,2	7,1	68,7	27,9	121,1	-80,4
Heu F 53g TS	12,7	10,5	0,9	1,3	49,2	18,5	92,2	-61,5
Heu F 30g TS	7,4	10,3	1,2	-4,1	28,6	13,3	57,6	-42,3
Heu G ad lib.	13,7	8,1	0,3	5,3	55,0	26,6	70,6	-42,2
Heu G 76g TS	11,5	7,5	0,8	3,1	46,0	25,6	89,7	-69,3
Heu G 53g TS	9,2	7,6	1,5	0,1	37,0	18,6	103,0	-84,7
Heu G 30g TS	4,7	8,2	4,1	-7,6	18,9	8,5	59,1	-48,7

Tab. XXXXII: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Sissi“

	Natrium				Kalium			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	Kot	Urin	Kot		Urin			
	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM
Heu F ad lib.	21,2	9,2	0,9	11,2	82,5	28,7	175,8	-122,0
Heu F 76g TS	19,2	7,9	1,2	10,1	74,7	20,3	116,5	-62,2
Heu F 53g TS	13,4	7,6	3,7	2,1	52,2	14,4	93,8	-56,0
Heu F 30g TS	7,6	5,4	0,8	1,4	29,7	10,1	52,0	-32,4
Heu G ad lib.	13,2	6,7	0,2	6,3	53,1	21,0	83,6	-51,4
Heu G 76g TS	12,6	6,4	1,2	5,0	50,5	20,0	119,5	-89,0
Heu G 53g TS	8,9	6,0	0,3	2,6	35,6	15,3	93,0	-72,7
Heu G 30g TS	5,1	5,3	1,0	-1,2	20,5	7,6	63,7	-50,9

Tab. XXXXIII: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Gharib“

	Natrium				Kalium			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM		mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM	
Heu F ad lib.	26,7	11,2	0,7	14,7	103,6	32,3	180,1	-108,8
Heu F 76g TS	20,4	10,3	0,8	9,4	79,2	22,3	165,4	-108,5
Heu F 53g TS	14,3	8,4	1,1	4,8	55,4	14,8	123,8	-83,2
Heu F 30g TS	8,1	5,9	0,9	1,3	31,3	10,5	45,9	-25,1
Heu G ad lib.	14,8	10,0	0,4	4,4	59,8	23,0	154,5	-117,7
Heu G 76g TS	13,0	8,0	0,3	4,8	52,2	23,2	107,1	-78,1
Heu G 53g TS	9,2	7,5	1,0	0,7	37,0	15,7	132,7	-111,4
Heu G 30g TS	5,3	7,1	1,2	-3,0	21,2	8,2	63,7	-50,6

Tab. XXXXIV: Natrium- und Kaliumbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Tarabas“

	Natrium				Kalium			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	Kot	Urin	Kot		Urin			
	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM
Heu F ad lib.	22,3	11,5	0,8	9,9	86,5	31,7	147,7	-92,9
Heu F 76g TS	19,4	10,3	2,3	6,8	75,4	24,5	180,4	-129,5
Heu F 53g TS	13,4	5,9	5,0	2,6	52,1	14,2	116,7	-78,7
Heu F 30g TS	7,7	5,6	7,2	-5,1	30,1	9,7	70,8	-50,5
Heu G ad lib.	12,4	6,6	0,4	5,4	49,9	21,8	130,9	-102,8
Heu G 76g TS	12,4	6,3	0,3	5,7	49,5	24,1	117,8	-92,5
Heu G 53g TS	8,9	6,0	0,5	2,5	35,8	15,8	105,2	-85,2
Heu G 30g TS	5,0	5,7	3,7	-4,3	20,2	6,7	61,4	-47,8

Tab. XXXXV: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Bukra“

	Aufnahme	Kalzium			Aufnahme	Phosphor		
		Ausscheidung		Bilanz		Ausscheidung		Bilanz
		Kot	Urin			Kot	Urin	
	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM
Heu F ad lib.	124,3	32,4	34,9	57,0	86,8	62,2	0,5	24,1
Heu F 76g TS	97,2	36,1	22,5	38,6	67,9	55,1	0,3	12,5
Heu F 53g TS	69,6	38,9	14,4	16,3	48,6	41,1	0,1	7,4
Heu F 30g TS	40,5	37,6	16,7	-13,8	28,3	28,5	0,2	-0,5
Heu G ad lib.	95,2	31,7	2,7	60,8	70,8	51,1	0,4	19,3
Heu G 76g TS	81,8	36,8	1,4	43,6	58,3	51,4	0,2	6,7
Heu G 53g TS	65,8	42,6	1,1	22,0	46,9	42,0	0,2	4,7
Heu G 30g TS	33,6	37,6	2,8	-6,8	24,0	28,5	0,0	-4,5

Tab. XXXXVI: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Sissi“

	Kalzium				Phosphor			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	Kot	Urin			Kot	Urin		
	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM
Heu F ad lib.	116,8	36,7	36,1	44,0	81,5	68,5	0,5	12,6
Heu F 76g TS	105,7	40,8	17,8	47,0	73,8	43,7	0,6	29,5
Heu F 53g TS	73,8	49,6	10,9	13,4	51,6	32,6	0,5	18,5
Heu F 30g TS	42,0	38,2	14,1	-10,3	29,3	31,1	0,3	-2,1
Heu G ad lib.	90,4	40,0	1,6	48,8	68,9	48,7	0,4	19,8
Heu G 76g TS	89,9	37,4	18,2	34,2	64,0	47,2	0,6	16,3
Heu G 53g TS	63,3	45,1	1,7	16,5	45,1	42,6	0,4	2,1
Heu G 30g TS	36,5	41,5	0,3	-5,4	26,0	26,4	0,2	-0,6

Tab. XXXXVII: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Gharib“

	Kalzium				Phosphor			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
	mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM		mg/kg KM	Kot mg/kg KM	Urin mg/kg KM	
Heu F ad lib.	146,6	47,5	23,1	76,0	102,3	81,1	0,6	20,6
Heu F 76g TS	112,1	40,0	16,9	55,2	78,3	59,8	0,4	18,1
Heu F 53g TS	78,3	41,4	9,1	27,8	54,7	46,4	0,4	7,9
Heu F 30g TS	44,3	37,8	10,0	-3,5	31,0	34,1	0,2	-3,3
Heu G ad lib.	100,5	55,5	0,4	44,6	78,2	65,8	0,6	11,7
Heu G 76g TS	92,9	47,9	0,4	44,6	66,2	58,7	0,6	7,0
Heu G 53g TS	65,8	37,8	0,5	27,5	46,9	44,2	0,4	2,3
Heu G 30g TS	37,8	33,0	1,5	3,2	26,9	30,5	0,2	-3,8

Tab. XXXXVIII: Kalzium- und Phosphorbilanz berechnet aus Aufnahme und fäkaler und renaler Ausscheidung in mg/kg KM/Tag für „Tarabas“

	Kalzium				Phosphor			
	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz	Aufnahme	Ausscheidung		Bilanz
		Kot	Urin			Kot	Urin	
	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM	mg/kg KM
Heu F ad lib.	122,4	40,1	21,3	61,0	85,5	74,4	0,3	10,7
Heu F 76g TS	106,7	45,3	9,2	52,1	74,5	63,6	0,3	10,6
Heu F 53g TS	73,8	44,6	11,4	17,7	51,5	45,9	0,3	5,3
Heu F 30g TS	42,5	42,5	12,5	-12,5	29,7	31,6	0,1	-2,0
Heu G ad lib.	84,6	43,5	0,4	40,6	65,0	54,6	0,4	10,1
Heu G 76g TS	88,1	41,0	2,2	44,8	62,8	59,6	0,5	2,7
Heu G 53g TS	63,7	44,6	0,4	18,7	45,4	47,6	0,3	-2,5
Heu G 30g TS	35,9	46,1	0,7	-10,9	25,6	26,4	0,1	-1,0

9 Danksagung

Bei Frau Professor Ellen Kienzle möchte ich mich herzlich für die Überlassung des Themas und ihre kreative Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Arbeit bedanken.

Außerdem gilt mein Dank Dr. Marcus Clauss, der mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat und es immer wieder geschafft hat, mich mit seinem Enthusiasmus anzustecken.

Vielen Dank auch an Dr. Britta Dobenecker und Dr. Nadine Kasbeitzer für ihre Hilfe während der praktischen Versuchsdurchführung im OWF.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Gabi Reder für ihre Unterstützung bei der Versorgung der Ponies und ihre tatkräftige Mithilfe bei der Vorbereitung der Stallungen für die Versuche.

Ein herzliches Dankeschön geht aber auch an Adrian, Nadja, Uli, Kim und alle anderen Mitarbeiter im OWF für ihre Hilfe, die nette Aufnahme und das gute Arbeitsklima.

Vielmals bedanken möchte ich mich bei Frau Stadler, Werner Hesselbach und Elke Kleiner, die viel Geduld mit mir hatten und mir durch viele wertvolle Ratschläge die Laborarbeit sehr erleichtert haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen anderen Institutsmitarbeitern und Doktoranden für die gute Zusammenarbeit.

Ganz besonderer Dank geht an das IZW Berlin dafür, dass ich die Untersuchung meiner Markerproben dort durchführen durfte. Stellvertretend für alle anderen möchte ich mich bei Dr. Silvia Ortmann, vor allem aber auch bei Heidrun Barleben bedanken, die ihr Labor mit mir geteilt und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat.

Auch bei meinem Chef Dr. Josef Endl, meinem Kollegen Tobias Bremhorst und allen anderen Mitarbeitern der Praxis Dr. Endl in Vilshofen möchte ich mich dafür bedanken, dass sie mir vor allem in der Schlussphase den Rücken freigehalten haben, so dass ich neben meiner beruflichen Tätigkeit trotzdem die nötige Zeit zur Fertigstellung der Dissertation zur Verfügung hatte.

Großer Dank gebührt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, die mir das Studium und die Anfertigung dieser Arbeit ermöglicht haben und mir immer Rückhalt gegeben haben. Ich danke Euch für das große Vertrauen, das Ihr immer wieder in mich gesetzt habt.